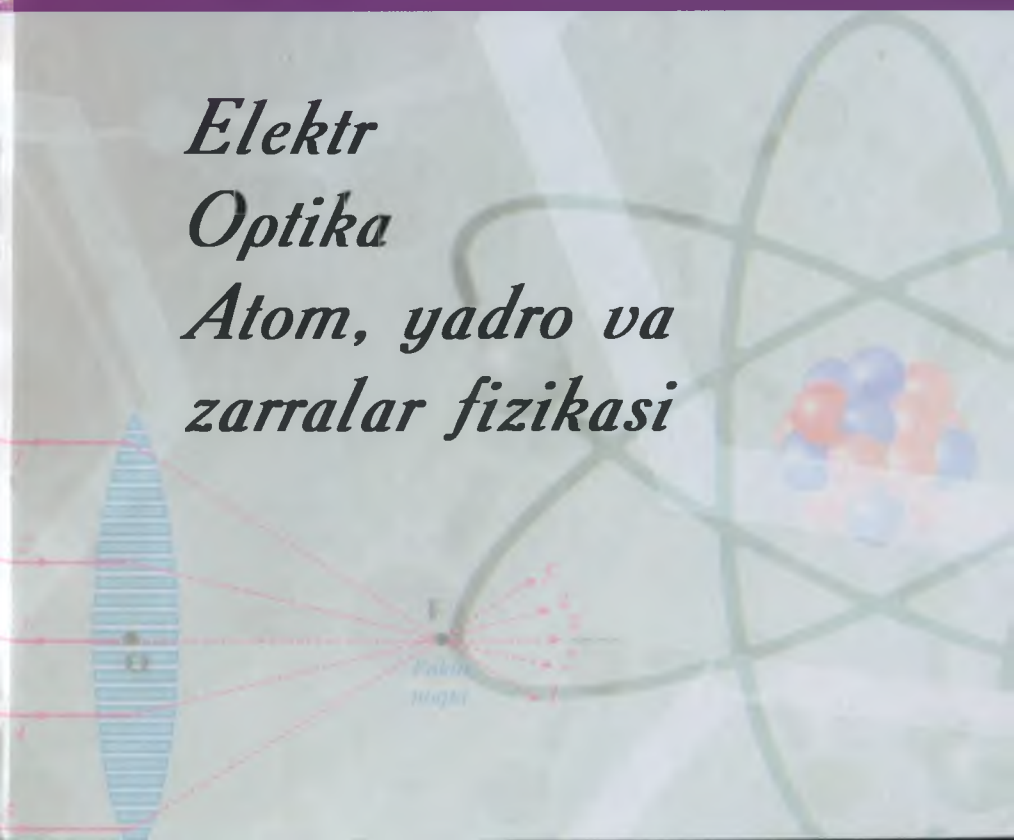


22.3
A90

Sh.B.Axmedov, M.B.Dusmuratov

FIZIKA

*Elektr
Optika
Atom, yadro va
zarralar fizikasi*



22.3
490

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

FIZIKA

(II qism)

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan darslik sifatida ruxsat olingan.

- *O'zgarmas tok qonunlari*
- *Turli muhitda elektr toki*
- *Magnetizm*
- *Mexanik tebranishlar va to'lqinlar*
- *Elektr tebranishlar va elektromagnit to'lqinlar*
- *Optika*
- *Nisbiylik nazariyasi*
- *Atom, yadro va zarralar fizikasi*



“NAVRO‘Z” nashriyoti
TOSHKENT – 2019

43697

45

ADKI Axborot-resurs narkazi

INV № 53801

Axmedov Sh.B., Dusmurov M.B. FIZIKA II qism /darslik/ T.: "NAVRO'Z", 2019.
– 470 b.

Mazkur darslik O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tasdiqlagan «Fizika» bo'yicha namunaviy o'quv dasturi asosida yozilgan bo'lib, fizika chuqurlashtirib o'qitiladigan akademik litseylar uchun mo'ljallangan. Unda fizikaning mexanika, molekulyar fizika va termodinamika asoslari, elektrodinamika asoslari hamda optika, atom, yadro va zarralar fizikasi bo'limlari yoritilgan. Har bir bob so'ngida bobga doir masalalar numuna sifatida yechib ko'rsatilgan hamda bobga doir testlar va masalalar berilgan. Darslikning ilova qismida masalalar yechishda kerak bo'ladigan jadval ma'lumotlari, turli fizik doimiylar, fizik kattaliklar o'lchov birliklarining ta'riflari keltirilgan.

Taqrizchilar:

X.M.Iliyev	• I.Karimov nomidagi TDTU, "Raqamli elektronika va mikroelektronika" kafedrasini mudiri, f.m.f.d., professor
A.G.Gaibov	I.Karimov nomidagi TDTU fizika kafedrasini mudiri, f.m.f.n., dotsent
X.S.Daliyev	• Fizika- matematika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Milliy universiteti "Fizika" fakulteti dekani
M.N.Mirahmedov	• Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Akademik litseyi bosh o'qituvchisi, fizika- matematika fanlari nomzodi

Darslik Navoiy Kon-metallurgiya kombinati davlat korxonasi moliyaviy ko'magida nashr etildi.

O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim vazirligining 2018-yil 7-dekabrda 1000-sonli qaroriga asosan nashrga tavsiya etilgan.

Fizika – tabiat to'g'risidagi fan hisoblanib, bu fan materiyaning turli ko'rinishlari va xossalarini, ularning xilma-xil o'zgarishlarini, bu o'zgarishlarni tavsif etadigan qonunlarni, hodisalar o'rtasidagi munosabatlarni, zamon va makon xususiyatlarini o'rganadi.

Boshqa fanlardan fizika fani shu jihati bilan farq qiladiki, materiyaning xususiyatlarini, uning o'zgarishlarini o'rganishda o'lchash va sonlar bilan ifodalash mumkin bo'lgan turli xil fizik kattaliklar kiritiladi. Shu tufayli hodisalarning kechishi va ular orasidagi eng muhim bog'lanishlar qonunlar deb atalib, ular ham matematik munosabatlar tarzida ifoda qilinadi.

Materiya xossalarining hammasi ham insoniyatga ma'lum bo'lmasdan, o'z yechimini topmagan tabiat hodisa va jarayonlari hali hamonki ko'pdir. Biroq fizika va boshqa fanlarning taraqqiyoti dunyoda o'rganib, tushunib bo'lmaydigan hech narsa yo'q ekanligini ko'rsatadi. Moddiy olamni bilish mumkinligini ham uning asosiy xususiyati deb hisoblash mumkin. Shu boisdaham har bir yangi kashf etilgan nazariya oldingisini rad etmasdan, balki uni to'ldirib, boyitib boradi, ya'ni moslik prinsipi bajariladi, shu tariqa insoniyat absalyut haqiqatga yaqinlashib boradi. Materiyaning xossalarini, uning o'zgarish qonunlarini bilish uning tevarak atrofdagi olamni bilishga bo'lgan tabiiy intilishiga mos keladi. Shuning uchun bu tabiat to'g'risidagi fanlar birinchi darajali amaliy ahamiyatga egadir. Chunkki ular biror tabiat hodisasining qanday kechishini oldindan bilishga imkon beradi. Busiz esa hach qanday muvaffaqiyatli ishlab chiqarish bo'lmaydi. Qudratli texnikaga bolgan kishilar faoliyati atrofimizdagi muhitga katta ta'sir ko'rsatayotgan hozirgi davrda tabiat qonunlariga tayanib kelajakni oldindan ko'ra bilish ayniqsa muhimdir. Bu ta'sir insonga tuzatib bo'lmas halokat keltirmasligi uchun uning oqibatlarini oldindan ko'ra bilish kerak. Buning uchun esa tabiat qonunlari to'g'risida, jumladan fizika o'rganadigan to'g'risida mumkin qadar ko'proq ma'lumotga ega bo'lish kerak.

Bizga ma'lumki, fizikani o'qitishdan asosiy maqsad, birinchidan tabiatning fundamental qonunlarini ilmiy aqosda tushuntirish, o'quvchilarning ilmiy dunyuqarash va falsafiy mulohaza yuritish qobiliyatlarini rivojlantirish, texnika va turmushda foydalaniladigan uskuna va vositalarning ishlash prinsiplari tushuntiruvchi fizik jarayonlar haqida tasavvurlarni shakllantirish bo'lsa, ikkinchidan esa ta'lim olishni davom ettirish, olgan bilimlarni chuqurlashtirish va kelgusida ilmiy izlanishlarni davom ettirish uchun mustahkam zamin yaratishdan iborat.

Darslik akademik litsey va kasb-hunar kollejlari hamda chuqurlashtirilgan maktab-internatlari o'quvchilari va abiturentlar uchun mo'ljallangan bo'lib, O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta ta'lim vazirligi tasdiqlagan "Fizika" bo'yicha o'quv-uslubiy kengashida muhokama qilinganva tavsiya etilgan namunaviy o'quv dasturi asosida yozilgan.

Darslikning ushbu ikkinchi qismi elektrodinamika asoslari, tebranishlar va to'liqlar, optika, nisbiylik nazariyasi hamda atom, yadro va zarralar fizikasi bo'limlarini o'z ichiga olgan. Har bir bobdagi mavzuni yoritib berishda mavzuga oid ko'plab adabiyotlar chuqur tahlil qilingan, mavzular ketma-ketligi va izchilligi hamda fanlararo aloqadorlik ham e'tiborga olingan. Mavzuga oid chizma va grafiklar zamonaviy dasturlar yordamida olingan bo'lib, ular o'quvchilarda mavzuga oid fizik tasavvurni kengaytirishga xizmat qiladi.

Darslikning har bir mavzusi kichikroq mavzuchalarga bo'lingan bo'lib, ular o'quvchilardagi bilimlarni konkretlashtirishga xizmat qiladi. Har bir mavzudan keyin mavzu yuzasidan bir nechta savollar berilgan bo'lib, bu esa o'quvchilarda mavzuni yana bir qayta yod etishga hamda ularda ko'nikma shakllanishiga sabab bo'ladi. Har bir bobdan keyin mazkur bobga oid misollar yechib ko'rsatilgan, mustaqil yechish uchun testlar va topshiriqlar berilgan. Undan tashqari fizik fani rivojiga muhim hissa qo'shgan, fundamental qonunlar kash qilgan olimlarning hayoti va ijodi haqida qisqacha ma'lumotlar berib o'tilgan.

Darslikdan fizika-matematika fanlariga ixtisoslashtirilgan maxsus maktablar va o'rta maktabni yuqori sinf o'quvchilari, oliy o'quv yurtlariga kiruvchi abituriyentlar hamda fizika o'qituvchilari uchun ham foydali bo'lib, darslik ularni fizikadan bilim saviyalarini yanada oshirishga katta yordam beradi.

Mualliflar darslikni chop etilishiga homiylik qilgan Navoiy Kon-metellurgiya kombinati davlat korxonasi rahbariyatiga o'zlarini samimiy minnatdorchiligini izhor etadilar.

ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI

Elektrodinamika—zaryadlangan jismlarning o‘zaro elektromagnit ta‘sirini hamda bu ta‘sirni uzatuvchi va materiyaning maxsus turi bo‘lgan elektromagnit maydonning xossasini va uning o‘ziga xos qonuniyatlarini o‘rganuvchi fizikaning bo‘limidir.

Hozirgacha fan aniqlagan ta‘sir uzatishning asosiy to‘rtta turi: gravitatsion, elektromagnit, yadro va zaif ta‘sirilar ichida elektromagnit ta‘sir eng ko‘p tarqalgani bo‘lib, o‘zining xilma-xiligi bilan birinchi o‘rinda turadi. Bunga sirtning ishqalanish kuchi, muhitning qarshilik kuchi, kulon kuchi, amper kuchi, Lorens kuchi, elastiklik kuchi, tayanchning reaksiya kuchi va boshqa kuchlarni misol qilish mumkin. Bir qarashda elastiklik, ishqalanish, qarshilik va reaksiya kuchlari mexanik kuchlaridek tuyulsa-da, aslida deyarli barcha mexanik kuchlar elektromagnit ta‘sirga kiradi. Chunki, yaqindan qaraganda moddani tashkil qilgan molekula va atomlar elektron qobiqlarga ega bo‘lib, bu qobiqlar orqali tortishish va itarishish kuchlari yuzaga keladi. Atom va molekullarning joylashuv o‘rni o‘zgarganda ana shu elektron qobiqlar orqali tortish yoki itarish kuchlardan biri ustunlik qiladi. Ana shunda yuqorida aytilgan mexanik kuchlar yuzaga keladi.

Ushbu darslikda elektrodinamika asoslari bo‘limini 4 qismga bo‘lib o‘rganamiz:

- *Elektrostatika*
- *O‘zgarmas tok qonunlari*
- *Turli mugitda elektr toki*
- *Magnetizm*
- *Elektr tebranishlari va elektromagnit to‘lqinlar*



I BOB. O'ZGARMAS TOK QONUNLARI

Ushbu bobda biz o'zgarmas elektr toki, elektr qarshiligi, qarshilikning temperaturaga bog'liqligi, qarshiliklarni ulash, elektr tokining ishi va quvvati, elektr asboblarning vazifalari, o'zgarmas tok manbalari, manbalarni ulash va Kirxgof qonunlari va boshqalar haqida tanishamiz.



§ 1. ELEKTR TOKI. ELEKTR QARSHILIK. ZANJIRNING BIR QISMI UCHUN OM QONUNI.

Elektr toki haqida tushuncha:

Kundalik hayotda elektr tokini barcha biladi. Elektr toki yordamida elektropoezdlar, tramvay va trolleybuslar harakatlanadi telefon, televizor, kompyuter va hokoza uy jihozlari ishlaydi.

Elektr tokini osongina hosil qilish mumkin. Masalan, ikkita sharni qarama-qarshi ishoralar bilan zaryadlab ularni ingichki sim bilan tutashtirish natijasida qisqa muddatli tok hosil qilish mumkin.

“Tok” so'zining o'zbek tiliga tarjimasi “oqim” deganidir. Demak, tok–elektr zaryadlarining oqimidir.

Elektr toki deb, elektr zaryadlarining bir tomonga qiladigan tartibli harakatiga aytiladi.

Elektr zaryadini asosan elektronlar, protonlar, musbat va manfiy ionlar tashkil qiladi. Shulardan protonlar har doim qo'zg'almas holatda yadroda turgani sababli, ular ko'chmaydi va tok ham hosil qilmaydi. Umumiy holatda elektr tokini elektron, musbat va manfiy ionlar hosil qiladi. Shu jumladan, elektr toki metallarda erkin elektronlar harakati tufayli, elektrolitlarda anionlar va kationlar harakati tufayli, yarimo'tkazgichlarda, elektronlar va kovaklar harkati tufayli, vakuumda esa faqat elektronlar harakati tufayli paydo bo'ladi. Metallarda atomlarning tashqi qobig'idagi elektronlar yadro bilan juda zaif bog'langan bo'lgani sabab, bu elektronlar erkin elektronga aylanadi va butun kristall panjaralari orasida daydib yuradi. Bu erkin elektronlar u yoki bu atomga tegishli bo'lmasdan, balki butun kristallga tegishli bo'ladi. Metallarda erkin elektronlar konsentratsiyasi $n = 10^{25} - 10^{29} m^{-3}$ oralig'ida bo'ladi.

Shuni ham eslatib o'tish kerakki, teng miqdordagi musbat va manfiy zaryadlarning bir tomonga qiladigan tartibli harakatidan (masalan, neytral atomlar harakatidan) elektr toki vujudga kelmaydi. Chunki, bunda biror yuzadan o'tgan jami zaryadlar yig'indisi nolga teng. Shuning uchun ham elektr tokini umumiy holatda quyidagicha ta'riflash mumkin:

Elektr toki deb, kompensatsiyalashmagan ortiqcha musbat yoki ortiqcha manfiy zaryadlarning tartibli harakatiga aytiladi.

O'tkazgichlar ichida elektr maydoni tufayli hosil bo'ladigan tokni *o'tkazuvchanlik toki* deyiladi. Lekin tokni bunday tor ma'noda tushunmaslik kerak. Masalan, biror zaryadlangan jism, masalan, meteorit o'zi bilan zaryad tashiyotgani uchun buni ham tok deyish mumkin. Bunday tok boshqa toklardan farqli ravishda *konveksion tok* deyiladi.

Tokning yo'nalishi deb musbat zaryadli zarralarning harakat yo'nalishi (yoki manfiy zaryadli zarralar harakatiga qarama-qarshi yo'nalish) qa'bul qilingan.

Metallarda tokni elektronlar hosil qilgani uchun ularda tok yo'nalishi elektronlar harakatiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi (1.1-rasm).

Andre-Mari Amper 1775-yil 20-yanvarda Fransiya qirolligining Lion shahrida yirik savdogar oilasida dunyoga kelgan. U buyuk fransuz matematigi, fiziği, tarbiyachi pedagogi, filosofi bo'lgina qolmasdan, Parij fanlar akademiyasi azosi, ko'pgina chet davlatlar fanlar akademiyasi a'zosi, xususan, Peterburg fanlar akademiyasining muxbir a'zosi bo'lgan. U elektr va magnit hodisalarni bog'lovchi dastlabki nazariyani yaratdi. Magnetizm tabiati haqidagi gipoteza Amperga tegishlidir. U "Elektr toki" tushunchasini fizikaga kiritdi. Jeyms Maksvell uni "Elektrodinamikaning Nyutoni" deb atagan. Amper mexanika, ehtimollar nazariyasi, matematik analiz sohasida ham ishlagan. U magnit va elektr tokining o'zaro ta'siri ustida ko'plab tajribalar o'tkazgan va 1820 yilda hozirda Amper kuchi deb nomlanuvchi formulani bayon etgan hamda bu kuchning yo'nalishini ko'rsatib bergan. U 1836-yil 10-iyunda Fransiya qirolligining Marsel shahrida olamdan o'tadi.



Andre-Mari Amper
(1775–1836)



1.1-rasm

O'tkazuvchanlik tokini hosil qilgan zaryadli zarralar harakatini bevosita kuzatib bo'lmaydi. Lekin o'tkazgichdagi tokning mavjudligini uning ta'siri, u bilan sodir bo'ladigan u yoki bu hodisalardan bilish mumkin.

1. Har qanday tok va harakatlanayotgan zaryadli zarra o'z atrofida magnit maydon hosil qiladi, ya'ni tokning magnit ta'siri kuzatiladi.

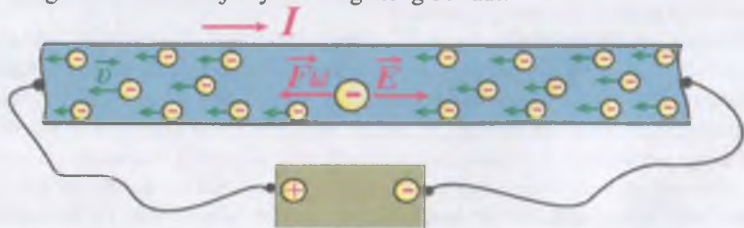
2. O'tkazgichlardan tok o'tayotganda erkin elektronlarning panjara tugunlari bilan noelastik to'qnashuvi tufayli o'tkazgich qiziydi, ya'ni tokning issiqlik ta'siri kuzatiladi.

3. Elektrolit, ishqor va tuz eritmalaridan tok o'tganda elektrolitik dissosatsiyalanish va modda ajralishi kuzatiladi, ya'ni tokning ximiyaviy ta'siri kuzatiladi.

Vaqt o'tishi bilan miqdor va yo'nalishi o'zgarmaydigan tokga **o'zgarmas tok** deyiladi. Zanjirdagi tok o'zgarmas bo'lishi uchun zanjirning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi potentsiallar farqi o'zgarmas bo'lishi kerak.

Tok kuchi va tok zichligi:

Metall o'tkazgich ichida son-sanoqsiz erkin elektronlar issiqlik harakatida ishtirok etadi. Lekin bu elektronlar harakati turli tomonga betartib yo'nalgan bo'lgani uchun ular elektr tokini hosil qila olmaydilar. O'tkazgich ichidan kichkina yuzacha ajratsak, birlik vaqt ichida shu yuzachadan qarama-qarshi tomonga teng miqdordagi erkin elektronlar o'tadi. Shuning uchun ham natijaviy tok nolga teng bo'ladi.



1.2-rasm

Endi metall sim uchlariga potentsiallar farqi berilsa, metall ichida elektr maydon vujudga keladi va bu maydon elektronlarga $F = eE$ kuch bilan ta'sir qiladi. Bu kuch esa elektronlarni o'z yo'nalishida va kuchlanganlik chiziqlariga qarama-qarshi yo'nalishda ko'chirishga majbur qiladi. Ana shunda zaryadli zarrachalarning bir tomonga tartibli ko'chkisi vujudga keladi va zanjirda tok hosil bo'ladi (1.2-rasm).

Metall o'tkazgich ichida elektr toki erkin elektronlarning tartibli harakati tufayli paydo bo'ladi. Elektronlarning yo'nalishi Kulon kuchi yo'nalishi bilan bir xil bo'lib, kuchlanganlik chiziqlariga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Shuningdek, tok kuchi yo'nalishi ham elektronlar yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

O'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan vaqt birligi ichida oqib o'tgan zaryad miqdoriga miqdor jihatidan teng bo'lgan skalyar kattalikka tok kuchi deyiladi.

Agar o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan biror Δt vaqt oralig'ida Δq zaryad miqdori oqib o'tsa, o'rtacha tok kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Agar o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan juda kichik elementar dt vaqt oralig'ida juda kichik elementar dq zaryad miqdori oqib o'tsa, oqib o'tish onidagi oniy tok kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} = q'$$

Demak, tok kuchi zaryaddan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila ekan.

Tok kuchining o'lchov birligi bu o'lchov birligini kiritgan olim Amper sharafiga *Amper (A)* larda o'lchanadi.

Agar o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan $1s$ vaqt ichida $1Kl$ zaryad miqdori oqib o'tsa, bunday tokning kuchi $1A$ ga teng bo'ladi.

$$1A = \frac{1Kl}{1s}$$

O'tkazgichdagi tok kuchining ko'ndalang kesim yuziga nisbatiga teng bo'lgan vektor kattalikga tok zichligi deyiladi. Boshqacha aytganda, tok zichligi yuza birligidan o'tuvchi tok kuchidir.

$$J = \frac{I}{S}$$

Tok zichligi vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi musbat zaryad oqib chiqayotgan yuzaning tashqi yo'nalishi bilan mos tushadi. Yuzasi katta bo'lgan kesimda tok zichligi kamroq, va aksincha kattaroq qiymatga ega bo'ladi. Tok zichligi qancha katta bo'lsa, zaryadli zarralar shuncha tig'is harakatlanayotgan bo'ladi.

Tok zichligining XBSdagi o'lchov birligi $\left[\frac{A}{m^2} \right]$ bo'lib, lekin ba'zida $\left[\frac{A}{cm^2} \right]$ va $\left[\frac{A}{mm^2} \right]$ o'lchov birliklariga ham duch kelamiz. Ular orasidagi bog'lanishni yozamiz.

$$1 \frac{A}{cm^2} = 10^4 \frac{A}{m^2}, \quad 1 \frac{A}{mm^2} = 10^6 \frac{A}{m^2}$$

Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni:

O'tkazgich bo'ylab zaryadlarning harakatlanishi uchun o'tkazgich uchlarida potentsiallar farqining bo'lishi, ya'ni o'tkazgich ichida elektr maydon bo'lishi kerak.

O'tkazgich uchlaridagi potentsiallar farqi elektrostatikadan farqli ravishda **kuchlanish** deb ham yuritiladi va lotincha U harfi bilan belgilanadi.

O'tkazgich uchlaridagi potentsiallar ayirmasi yoki kuchlanish deb, bir birlik musbat zaryadni o'tkazgich bo'ylab ko'chirishda o'tkazgichdagi elektr maydoni kuchning bajargan ishiga miqdor jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

$$U = \frac{A}{q}$$

O'tkazgichdagi kuchlanish va tok kuchi orasidagi bog'lanishni aniqlash bo'yicha tajribalarni birinchi bo'lib nemis fizigi 1826-yilda Om Georg Simon o'tkazgan.

Tajribagag ko'ra o'tkazgich qutblaridagi kuchlanishni asta-sekin oshirilganda tok kuchi ham kuchlanishga to'g'ri proporsional holda ($I \sim U$) oshib borgan (1.3-rasm). Shuning uchun koeffitsient kiritish orqali proporsionallikdan tenglikka o'tildi.

$$I = G U$$

Bu yerda: G – proporsionallik koeffitsienti bo'lib, unga ***o'tkazgichning o'tkazuvchanligi*** deyiladi. O'tkazuvchanlik qancha yaxshi bo'lsa, ayni bir kuchlanishda o'tkazgichdan shuncha katta tok o'tadi.



1.3-rasm

XBSda o'tkazuvchanlikning birligi qilib simens (Sm) qa'bul qilingan.

1Sm o'tkazuvchanlik deb, usrlarida 1V kuchlanish bo'lganda 1A tok o'tadigan o'tkazgichning o'tkazuvchanligiga aytiladi.

Odatda esa, amaliy hisoblashlarda o'tkazuvchanlikka teskari bo'lgan ifoda – o'tkazgich qarshiligi ishlatiladi.

$$R = \frac{1}{G}$$

Turli xil o'tkazgichlar zanjirdan o'tayotgan tokni turlicha cheklaydi yoki tokka turlicha qarshilik ko'rsatadi.

O'tkazgich qarshiligi Om ($Om = \Omega$)da o'lchanadi. o'tkazuvchanligi 1Sm bo'lgan o'tkazgichning qarshiligi 1Om ga teng.

$$1Om = \frac{1}{1Sm}$$

O'tkazgichning zanjirdagi tokni cheklash xossasiga o'tkazgich qarshiligi deyiladi.

O'tkazgich qarshiligi R orqali tok kuchi I ning kuchlanish U ga bog'liqligi quyidagicha bo'ladi:

$$I = \frac{U}{R}$$

Yuqoridagi bog'lanishni birichi bo'lib G.S.Om aniqlagani uchun bu bog'lanish uning sharafiga *zanjirning bir qismi uchun Om qonuni* deb ataladi. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi:

Zanjimning bir qismidan o'tayotgan tokning kuchi o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishga to'g'ri proporsional va o'tkazgichning qarshiligiga teskari proporsionaldir.

O'tkazgich qarshiligi $1Om$ ni quyidagicha ta'riflash ham mumkin:

$1Om$ qarshilik deb, uchlaridagi kuchlanish $1V$ bo'lganda $1A$ tok o'tkazadigan o'tkazgichning qarshiligiga aytiladi.

O'tkazgichning qarshiligi uning geometrik o'lchamlariga va material turiga bog'liq bo'lgan kattalikdir. O'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi qancha katta bo'lsa, erkin elektronlar yugurishi uchun shuncha keng yo'lakcha qilib qo'yilgan va bu elektronlar bir-biriga turtilmasdan shuncha bemalol yugurishadi deb fikr yuritsak, u holda qarshilik o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasiga teskari proporsional degan xulosaga kelamiz. O'tkazgich uzunligi qancha uzun bo'lsa, erkin elektronlar bu uzun yo'lga shuncha ko'p kristal panjaralaridagi tugunlar bilan to'qnashadi deb fikr yuritsak, u holda qarshilik o'tkazgichning uzunligiga to'g'ri proporsional degan xulosaga kelamiz.

O'tkazgich qarshiligi o'tkazgichning geometrik o'lchamlariga va material turiga quyidagicha bog'langan:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Bu yerda: ℓ – o'tkazgich uzunligi; S – o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi; ρ – o'tkazgichning solishtirma qarshiligi bo'lib, har xil materiallar uchun uning son qiymati turlichadir. Solishtirma qarshilikning son qiymatlari har xil materiallar uchun ilovada berilgan. Solishtirma qarshilikning XBSdagi o'lchov birligi $[\rho] = [Om \cdot m]$ bo'lib, lekin ba'zida $\left[\frac{Om \cdot m}{sm^2} \right]$ va $\left[\frac{Om \cdot m}{mm^2} \right]$ o'lchov birliklaridan ham foydalaniladi. Ular orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$1 \frac{Om \cdot m}{sm^2} = 10^4 Om \cdot m, \quad 1 \frac{Om \cdot m}{mm^2} = 10^6 Om \cdot m$$

Solishtirma qarshilikka teskari kattalikka *solishtirma o'tkazuvchanlik* deyiladi.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

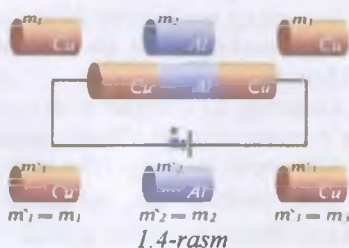
XBSdagi solishtirma o'tkazuvchanlikning o'lchov birligi $[\sigma] = [Om^{-1} \cdot m^{-1}] = Sm / m$ bo'ladi.

Metallarning elektron o'tkazuvchanligini tekshirishga oid tajribalar:

Metallarda elektr tokini elektronlar tashiydi degan tushunchaga birdaniga kelingan emas. XX asrning boshlarida o'tkazilgan bir qancha tajribalar natijasida bu fikr o'z isbotini topgan. Shu tajribalardan ba'zilari bilan tanishib o'tamiz.

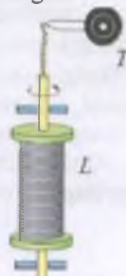
1) Rikke tajribasi. 1901-yilda nemis fizigi K.Rikke ushbu tajribani o'tkazdi. U oldindan tarozida juda aniq tortilgan uchta slindrik – ikkita mis va bitta alyuminiydan yasalgan o'tkazgichlar olib, ularning silliqlangan yuzalarini bir-biriga jips qilib taxladi (1.4-rasm). So'ngra slindrlarni shu jips holatda tutib ulardan bir yil davomida shahar tramvay tarmog'ini ta'minlovchi katta tok o'tib turdi. Bu davr ichida esa slindr o'tkazgichlar orqali taxminan 3,5 mln. KJ zaryad o'tdi. Bir yildan so'ng o'tkazgichlar tokdan ajratilib, so'ng bu slindrlarni o'ta aniq – 0,03 mg aniqlikda tarozida massalarini

ikkinchi marta o'ldi. Tajriba natijasi shuni ko'rsatdiki, ularning har birining massasi bir yil oldingi massasiga teng ekan, ya'ni tok o'tish natijasida massalar o'zgarmabdi. Tegib turuvchi kontakt yuzalarni mikroskop bilan kuzatilganda bir metallning ikkinchisiga diffuziya bo'lib kirishishi ham sodir bo'lmagani aniqlandi.



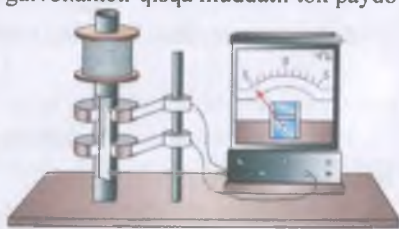
1.4-rasm

2) **Mandelshtam-Papaleksi tajribasi.** Metallardagi tok tashuvchilar tabiatini o'rganish uchun fizik olimlar L.I.Mandelshtam va N.D.Papaleksilar 1913-yilda ajoyib tajriba o'tkazishdi. Tajribaning g'oyasi shundaki, tez harakatlanayotgan o'tkazgich birdaniga to'xtatilganda hosil bo'ladigan elektr tokini sezishdir. Agar biror tezlik bilan ilgarilanma harakat qilayotgan metall sterjen keskin to'xtatilsa, bu sterjen bilan harakatlanayotgan erkin elektronlar inersiya bo'yicha harakatini davom ettiradi va bu sterjenda qisqa muddatli tok paydo bo'lishiga olib keladi. Mandelshtam va Papaleksi tajribasi shu inersiya xossasidan foydalanib amalga oshirildi. Uchlari T telefon trubkasiga ulangan simli g'altak L o'z o'qi atrofida tez buralma tebranadi (1.5-rasm). Bunda zanjirda telefon trubkasida tovush hosil qiladigan tok paydo bo'ladi. Bu tajriba metallardagi zaryad tashuvchilarning inersion harakati mavjudligini tasdiqladi.



1.5-rasm

3) **Styuart-Tolmen tajribasi.** Mandelshtam-Papaleksi tajribasiga o'xshash tajribani 1916-yilda amerikalik fiziklar T.Styuart va R.Tolmenlar o'tkazishdi. Ularining tajriba sxemasi 1.6-rasmda tasvirlangan. Ingichka simdan yasalgan ko'p o'ramli – cho'lg'aming umumiy uzunligi 500 m bo'lgan g'altakni katta tezlikda – g'altak gardishining tezligi 300 m/s tezlikda aylantirildi. G'altakdagi o'ralgan o'tkazgich uchlari sirpanuvchi kontakt orqali sezgir galvanometrga ulangan. Shiddat bilan aylanayotgan maxsus qurilma yordamida keskin tormozlanganda galvanometr qisqa muddatli tok paydo bo'lganini ko'rsatgan. Undan tashqari tokning yo'nalishi manfiy zaryadli zarralarning inersion harakatiga mos kelar edi. Bu tajriba natijasida zaryad tashuvchilarning solishtirma zaryadi aynan elektronnikiga tengligi, ya'ni $\frac{q}{m} \approx \frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{KJ}{kg}$ ekanligi aniqlandi. Shunday qilib, metallarda tok tashuvchilar faqat elektronlar bo'lishi mumkinligi ma'lum bo'ldi.



1.6-rasm

4) **Drudening klassik-elektron nazariyasi.** 1900-yilda nemis fizigi P.Drude metallardagi elektr toki tashqi elektr maydoni ta'siridagi erkin elektronlarning kristall panjara oralig'idagi tartibli harakatidan iborat degan tushunchaga asoslanib metallar elektr o'tkazuvchanligi nazariyasini yaratdi. Uning nazariyasi asosida quyidagi farazlar yotadi:

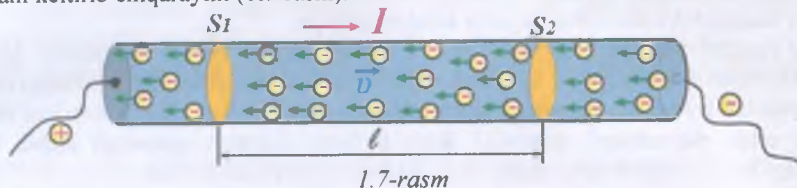
- o metallardagi erkin elektronlar o'zlarini xuddi ideal gaz molekullari kabi tutadi;
- o metallardagi erkin elektronlar Nyutonning klassik mexanikadagi qonunlariga bo'ysunadi;

- o erkin elektronlar o'zlarining xotik harakatlarida bir-birlari bilan emas, balki kristall panjara ionlari bilan to'qnashadi;
- o elektronlar ionlar bilan to'qnashganda o'zlarining kinetik energiyasini ionlarga beradi.

Albatta, bu farazlar hodisaning haqiqiy manzarasini ochib bera olmaydi (elektronlar harakati kvant mexanika qonunlariga bo'ysunadi). Shunga qaramasdan, Drudening klassik-elektron nazariyasi tok qonunlarini tushuntirishga imkon berdi.

O'tkazgichda elektronlarning tartibli harakat tezligi:

O'tkazgich ulariga potentsiallar farqi berilganda, o'tkazgich ichida elektr maydoni vujudga keladi va bu maydon erkin elektronlarni bir tarafga tartibli ko'chira boshlaydi. Natijada dreyf harakat kuzatiladi. Hisob-kitoblarning ko'rsatishicha ushbu dreyf harakat tezligi juda kichik bo'lib, u elektronlarning issiqlik harakatidagi tezligidan 5 tartibga kichik bo'lar ekan. Elektronlarning o'tkazgich ichida dreyf tezligini miqdoriy baholovchi formulani keltirib chiqaraylik (1.7-rasm).



Biror Δt vaqt oralig'ida o'tkazgichning S_1 ko'ndalang kesim yuzasidan o'tgan elektronlar ℓ yo'lni bosib o'tib S_2 yuzasidan ham o'tadi. S_1 va S_2 kesim oralig'idagi hajm $V = S\ell = Sg\Delta t$ ga, bu hajmdagi elektronlar soni esa $N = nV = nSg\Delta t$ ga teng bo'ladi. Tok kuchining formulasidan foydalanib dreyf tezlikni topish mumkin.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{Ne}{\Delta t} = \frac{nSg\Delta te}{\Delta t} = nSge, \quad \rightarrow \quad g = \frac{I}{enS} = \frac{J}{en}$$

Demak, o'tkazgich ichidagi elektronlarning tartibli harakat tezligi quyidagi formuladan aniqlanar ekan:

$$g = \frac{I}{enS} = \frac{J}{en}$$

Bu yerda: n – o'tkazgichdagi erkin elektronlar konsentratsiyasi bo'lib, uning qiymati metall turiga bog'liq;

S – o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi;

$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ KJ}$ – elektronning elektr zaryadi.

Elektronning o'tkazgichdagi dreyf va issiqlik harakatlarini taqqoslash uchun ushbu masalani echib ko'raylik.

Masala: Ko'ndalang kesim yuzasi 1 mm^2 bo'lgan o'tkazgichdan 1 A tok o'tayotgan bo'lsa, elektronlarning dreyf harakat tezligi qanday? O'tkazgichdagi erkin elektronlar konsentratsiyasini $n = 10^{28} \text{ m}^{-3}$ deb oling. Chiqqan natijani xona temperaturasidagi issiqlik harakat tezligi bilan solishtiring.

Yechish:

Elektronlarning dreyf tezligi yuqorida topilgan formulaga ko'ra

$$g = \frac{I}{enS} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{28} \cdot 10^{-6}} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = 0,625 \text{ mm/s}$$

bo'ladi. Issiqlik harakatidagi tezlik esa molekulyar kinetik nazariyaga ko'ra

$$v_2 = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 115000 \text{ m/s} \quad c = 115 \text{ km/s}$$

ga teng bo'ladi. Bularning nisbati $\frac{v_2}{v_1} = \frac{115000}{0,000625} \approx 1,84 \cdot 10^8 = 184 \text{ mln}$ ga teng bo'ladi.

Demak, yuqoridagi masalada elektronlarning tartibsiz issiqlik harakatidagi tezligi tartibli dreyf tezligidan 184 mln marta katta ekan. Lekin, shuncha katta tezlikda harakatlanishi bilan ham ular betartib bo'lgani uchun tokni hosil qilolmas ekan. "Elektronlarning tartibli harakatdagi tezligi shunchalik kichik ekan, nima uchun tokni yoqishimiz bilan butun binoning hamma chiroqlari birdan yonadi yoki transformatoridan tokni qo'shganda butun qishloqdagi elektr chiroqlari shu zahotiyoq baravar yonadi" degan savol tug'iladi. Bunga javob shuki, tok qo'shilganda o'tkazgich ichida elektr maydoni vujudga keladi va bu maydon yorug'lik tezligida tarqalib barcha o'tkazgichlar ichidagi elektronlarni deyarli bir vaqtda harakatga keltiradi.

O'tkazgich ichida elektr maydon kuchlanganligi:

O'tkazgichdan tok o'tayotgan bo'lsa, uning ichida zaryadli zarralarni harakatga keltirayotgan elektr maydoni mavjud bo'ladi. Chunki o'tkazgichni tok manbaiga ulaganda (+) qutbdan (-) qutbga yo'nalgan elektr maydoni paydo bo'ladi. Elektr maydoni zaryadni, ya'ni erkin elektroblarni potentsiali katta bo'lgan nuqtadan potentsiali kichik bo'lgan nuqtaga ko'chirishga majbur qiladi. Shunda elektr toki paydo bo'ladi.

Biror ℓ uzunlikdagi o'tkazgichning uchlaridagi potentsiallar farqi U bo'lsa, o'tkazgich ichida elektronlar harakatiga E elektr maydon sababchi bo'ladi. Elektr maydon kuchlanganligining son qiymati

$$E = \frac{U}{\ell} = \frac{IR}{\ell} = \frac{I\rho\ell}{\ell S} = \rho \frac{I}{S} = \rho J$$

ga teng bo'lib, yo'nalishi elektronlar haraktiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi (1.1-rasm).

Demak, tokli o'tkazgich ichida elektr maydon kuchlanganligining son qiymati quyidagicha bo'lar ekan:

$$E = \rho \frac{I}{S} = \rho J$$

Elektr qarshiligining temperaturaga bog'liqligi:

Ma'lumki, o'tkazgich metallarning metallmaslardan farqi tashqi qobig'idagi elektronlarini osongina berib yuborishida. Metallar eng tashqi elektron qobig'idagi elektronlar yadroga juda zaif bog'langani sababli, ular osongina bog'ni uzib metall kristal panjaralari orasidagi bo'shliq bo'ylab daydib yuradi. Bu elektronlar erkin elektronlar deyilib, tok hosil bo'lishida asosiy zaryad tashuvchilardir. Ana shu erkin elektronlar konsentratsiyasi katta bo'lgan o'tkazgichlarning tok o'tkazuvchanligi yaxshi bo'ladi. Erkin elektronlarni klassik fizikada elektron gaz deb ham, ataladi va birinchi yaqinlashishda unga ideal gaz qonunlarini qo'llash mumkin deb hisoblanadi. Erkin elektronlar qotib qolgan bo'lmasdan, balki issiqlik harakatida ishtirok etib, betartib xotik harakat qiladi, kristall tugunlaridagi atomlar bilan to'qnashganda molekularlar kabi qaraladi. O'tkazgich temperaturasi oshirilganda, erkin elektronlarning betartib harakati ham kuchayib boradi. Natijada ushbu betartiblik ularning bir tomonga qiladigan tartibli harakatiga, ko'chki hosil bo'lishiga xalaqit bera boshlaydi. Demak, bundan o'tkazgich

Buyuk nemis fizigi Om Georg Simon 1787-yil 16-mayda Bavariya qirolligining Erlangen shah'rida dunyoga kelgan. U tok kuchi, kuchlanish va qarshilik orasidagi bog'lanishni ifodalovchi qonunni fizikaga nazariy jihatdan kirgizdi va o'z tajribalarida isbotladi. Hozirda elektr qarshiligining nomi uning nomi bilan "Om" deb va o'tkazuvchanlikning birligi esa uning familiyasi bilan "Simon" deb nomlanadi. Om qonuni dunyo olimlari tomonidan tan olinadi va London qirolik jamiyatining 1841-yil 30-noyabrda yig'ilishida Kopli medali bilan taqdirlanadi. U hayoti davmida qilgan ishlari, maqolalarini 1827-yilda bitta kitob (Dier galvanische Kette, mathematisch bearbeitet) qilib chop etadi, so'ngra bu kitob 1841-yilda mnglizchaga, 1847-yil fransuzchaga, 1860-yil esa italyanchaga tarjima qilinadi. U Furening issiqlik tarqalish hodisalari bilan ham shug'ullangan. U 1854-yil 6-iyulda Germaniyaning Myunxen shahrida 76 yoshida olamdand o'tadi.



Om Georg Simon
(1787–1854)

temperaturasi oshirilganda uning elektr qarshiligi oshib, tok o'tkazish xususiyati pasayib boradi deyish mumkin. Hisob-kitoblarning ko'rsatishicha qarshilik va solishtirma qarshilik temperaturaga chiziqli bog'langan ekan.

Solishtirma qarshilik va elektr qarshilikning temperaturaga bog'liqligi quyidagicha bo'ladi:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad R = R_0(1 + \alpha t)$$

Bu yerda: ρ_0, R_0 – o'tkazgichning 0°C dagi solishtirma qarshiligi va elektr qarshiligi;

ρ_t, R_t – o'tkazgichning $t^\circ\text{C}$ dagi solishtirma qarshiligi va elektr qarshiligi;

α – qarshilikning temperaturaviy koeffitsienti, $[\alpha] = [^\circ\text{C}^{-1}]$.

Hamma metallarda α ning qiymati musbat, chunki qizdirilganda ularning qarshiligi ortadi. Toza metallarning temperatura koeffitsientlari bir-biridan kam farq qiladi va ularni taxminan $0,004^\circ\text{C}^{-1}$ (ideal gazlardagi hajm va bosimning chiziqli oshish koeffitsientlari $\frac{1}{273^\circ\text{C}}$ atrofida) bo'ladi deb hisoblash mumkin. Metall qotishmalarning solishtirma

qarshiligi toza metallarnikidan ancha katta, temperaturaviy koeffitsiyentlari esa birmuncha kichik bo'ladi. Ba'zi qotishmlarning temperaturaviy koeffitsiyentlari ancha kichik bo'lganligidan ularning solishtirma qarshiliklari deyarli temperaturaga bog'liq bo'lmaydi.

Kuchli qizish bilan ishlaydigan har qanday elektr asbobining tokka ulangan paytdagi qarshiligi va undan o'tayotgan tok kuchining qiymati uning ishchi holatidagidan farq qiladi. Ishchi holatda ishlayotganda elektr asboblarining qarshiligi oshib, undan o'tayotgan tok kuchi esa kamayadi. Bu farq hattoki bir necha marta bo'lishi mumkin.

Ba'zida masalalar echishda qarshilikning 0°C dan farq qiluvchi biror temperaturadagi qiymati berilib, boshqa bir temperaturadagi qiymati so'raladi. Buni yechish uchun avval o'tkazgichning t_1 temperaturadagi qarshiligi $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$ dan uning 0°C dagi qarshiligi

$R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1}$ ni topib olib, uni t_2 temperaturadagi qarshiligi R_2 ga qo'yib, so'ngra

$$R_2 = R_0(1 + \alpha t_2) = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1}(1 + \alpha t_2) = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} R_1$$

ni hosil qilamiz.

Demak, agar o'tkazgichning qarshiligi t_1 temperaturada R_1 bo'lsa, t_2 temperaturadagi qarshiligi R_2 quyidagicha bo'lar ekan:

$$R_2 = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} R_1$$

Ba'zida o'tazgichning qarshiligi necha marta ortganligi berilib, uning necha gradusgacha qizdirilganligi so'raladi. Shuni aniqlaylik. O'tkazgichning t^oC dagi qarshiligi $R = R_0(1 + \alpha t)$ dan $1 + \alpha t = \frac{R}{R_0} = k$ bundan esa $t = \frac{k-1}{\alpha}$ kelib chiqadi.

Demak, 0^oC temperaturadagi o'tkazgichni quyidagi gradusgacha qizdirganda uning qarshiligi k marta ortib ketar ekan.

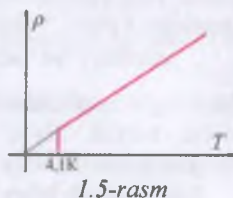
$$t = \frac{k-1}{\alpha}$$

Shuni eslatib o'tish kerakki, o'tkazgich isitilganda uning qarshiligi necha marta oshsa, undan o'tayotgan tok kuchi shuncha marta kamayadi. Demak, o'tkazgichlardagi (ayniqsa elektr lampalari va plita spirallaridagi) tok kuchi ishchi rejimida sovuq holatdagidan kam bo'lar ekan. Metallar qarshiligining temperaturaga bog'lanishiga asoslanib qarshilik termometrlari yasaladi. Ularni qarshilik termoparalari deb ham ataladi. Ular temperaturani gradusning mingdan bir ulushiga qadar aniqlikda o'lchashga imkon beradi.

Yana shuni qayd qilib o'tish kerakki, ko'mir va elektrolitlar, shuningdek toz yarim o'tkazgichlar (bu haqda keyingi bobda tanishamiz) uchun α koefitsient manfiydir. Chunki, ularni qizdirilganda qarshiigi kamayadi.

Ayrim sof metallarda solishtirma qarshilik absalyut nolga yaqin temperaturalarda keskin nolga aylanishi ma'lum bo'ldi (1.5-rasm). Bu hodisa o'ta o'tkazuvchanlik deb nomlanib, uni birinchi bo'lib 1911 yilda gollandiyalik fizik Kamerling-Onnes tajriba asosida kashf qildi. U simobni suyuq geliyda sovitganda dastlab simobning qarshiligi $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ formulaga muvofiq kamayib borib, temperatura 4,1K ga etganda sakrab birdaniga nolga tushib qolganligi aniqlandi.

Agar o'ta o'tkazuvchan holatda bo'lgan xalqa shaklidagi o'tkazgichda tok hosil qilinsa, istalgancha uzoq vaqt undagi tokning qiymati o'zgarmay qolar ekan. Kamerling-Onnes 7K temperaturadagi qo'rg'oshinda EYuK ta'siri to'xtagandan keyin ham 4 sutka davomida elektr toki o'tib turganini kuzatdi.



1.5-rasm



1. Tok deb nimaga aytiladi? Tok kuchining formulasi qanday?
2. O'tkazgich ichidagi dreyf harakat tezligi formulaini yozing?
3. Qarshilik va o'tkazuvchanlikni tushuntiring.
4. Rike, Mandelstam-Papaleksi, Styuart-Tolmen tajribalarini aytib bering.
5. Drude nazariyasini aytib bering.
4. Qarshilikni temperaturaga va geometrik o'lchamlarga bog'liqlik formulalarini yozing.
5. O'ta o'tkazuvchanlik nima?

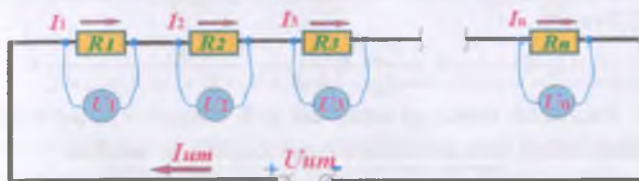


§ 2. QARSHILIKLARNI KETMA-KET VA PARLLEL ULASH

Qarshiliklarni ulashning ikki turi bor: 1) ketma-ket ulash; 2) parallel ulash. Bu ulashlarda tok kuchi, kuchlanish va ummiy qarshilik qanday bo'lishini qarab ko'raylik.

O'tkazgichlarni ketma-ket ulash:

Qarshiliklarni quyida rasmdagidek ulash ketma-ket ulash hisoblanadi Bunda 1-qarshilikning iziga 2-qarshilik, 2-qarshilikning iziga 3-qarshilik va hokozalar ulanib, 1-va n -qarshiliklar o'zgaras tok manbainig mos holda (+) va (-) qutblariga ulanadi (2.1-rasm).



2.1-rasm

Qarshiliklarni ketma-ket ulaganda 1-qarshilikning boshi manbainig (+) qutbiga, oxirgi n -qarshilikning oxiri esa manbainig (-) qutbiga ulangan bo'ladi (2.1-rasm). Manbainig (+) qutbidan chiqqan zaryad (aslida esa manbainig (-) qutbidan elektron chiqadi) 1-, 2-, 3-... n -qarshiliklar orqali o'tib manbainig (-) qutbiga (aslida esa manbainig (+) qutbiga elektronlar yetib keladi) to'la-to'kis yetib keladi. Hech qanday tarmoqlanish bo'lmagani sababli har bir qarshilikda vaqt birligi ichida teng miqdordagi zaryad oqib o'tadi. Demak, ulardagi tok kuchlari teng, ya'ni $I_{um} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$ bo'lar ekan. Bunga har bir istemolchi qarshilikdan keyin ampermetr ulaganda ularning ko'rsatishlari bir xil chiqishidan ham bilib olish mumkin.

Tashqaridan berilgan umumiy kuchlanish barcha qarshiliklarga taqsimlanib, singib ketgani sababli $U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$ bo'ladi. Bunga har bir istemolchi qarshilikga parallel qilib ulangan volmetrlar ko'rsatishlari yig'indisi tok manbainig kuchlanishiga teng chiqishidan ham bilib olish mumkin.

Umumiy qarshilik esa

$U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n, \rightarrow IR = I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3 + \dots + I_nR_n : I \rightarrow R_{um} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ bo'ladi.

Shunday qilib, qarshiliklarni ketma-ket ulaganda umumiy tok, umumiy kuchlanish va umumiy sig'im quyidagicha bo'lar ekan:

$$I_{um} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

$$U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

$$R_{um} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Tok kuchlarining bir xil bo'lishi zaryad saqlanish qonunining natijasidir. Kuchlanishning iste'molchi qarshiliklarga taqsimlanib ketishi esa energiya saqlanish qonunining natijasidir. Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, qarshiliklar ketma-ket ulaganda hosil bo'ladigan umumiy qarshilik berilgan qarshiliklar ichida eng katta qarshilikdan ham kattaroq bo'lar ekan.

Agar bir xil qarshiliklarni o'zgaras tok tarmog'iga ketma-ket qilib ulansa, ularning har birini R ga teng deb olamiz. Umumiy qarshilik $R_{um} = R + R + R + \dots + R = nR$ bo'ladi.

Demak, n ta bir xil qarshilik ketma-ket ulaganda hosil bo'lgan umumiy qarshilik quyidagicha bo'lar ekan:

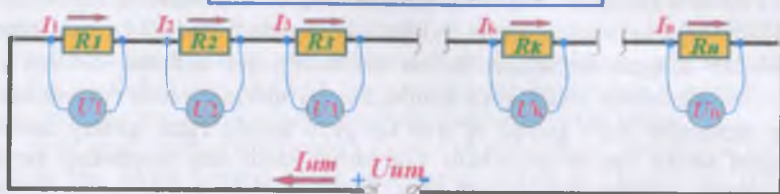
$$R_{um} = nR$$

Ketma-ket qilib n ta qarshilik ulangan bo'lib, ulardan ixtiyoriy 1- yoki 2-yoki 3-qarshilikdagi, umuman olganda shu qarshiliklar orasida ixtiyoriy bittasi, ya'ni k - qarshilikdagi kuchlanish tushuvini aniqlashimiz kerak bo'lsin. Ixtiyoriy iste'molchidagi kuchlanish tushuvi o'sha iste'molchi va undan o'tayotgan tok kuchining ko'paytmasiga teng bo'ladi (2.2-rasm).

$$U_k = I_k \cdot R_k = I_{um} \cdot R_k = \frac{U_{um}}{R_{um}} \cdot R_k = \frac{R_k}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k + \dots + R_n} U$$

Demak, U kuchlanish manbaiga ketma-ket qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy ($1 < k < n$) k -qarshilikdagi kuchlanish tushuvi quyidagicha bo'lar ekan:

$$U_k = \frac{R_k}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k + \dots + R_n} U$$



2.2-rasm

Formuladan ko'rinib turibdiki, kuchlanish tushuvi katta qarshilikda ko'proq, kichik qarshilikda kamroq bo'lar ekan, ya'ni umumiy qarshilikni hosil qilishda qo'shgan hissasiga qarab kuchlanish tushar ekan. Qarshiliklar qanday nisbatda bo'lsa, ularda tushadigan kuchlanishlar ham shunday nisbatda bo'ladi.

$$U_1 : U_2 : U_3 : \dots : U_n = R_1 : R_2 : R_3 : \dots : R_n$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

deb yozish mumkin.

Masalalar yechishda eng ko'p duch keladiganimiz – ketma-ket ulangan ikkita qarshiliklarning har biridagi kuchlanish tushuvlari so'ralishidir.

U kuchlanish manbaiga ketma-ket qilib ulangan R_1 va R_2 qarshiliklarning har biridagi kuchlanish tushuvlari quyidagiga teng bo'ladi (2.3-rasm):

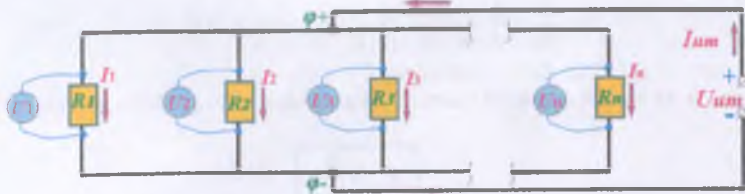
$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$



2.3-rasm

O'tkazgichlarni parallel ulash:

Qarshiliklarni quyida rasmdagidek ulash parallel ulash hisoblanadi. Bunda hamma qarshiliklarning bir uchi manbaning (+) qutbiga, 2-uchlari esa manbaning (-) qutbiga to'g'ridan to'g'ri ulanadi.



2.4-rasm

Hamma qarshiliklarning tepadagi 1-uchlari to'g'ridan to'g'ri manbaning (+) qutbga ulangan. Shuning uchun, bu uchlarning hammasida bir xil manbaning (+) qutbining potensialiga teng bo'lgan φ_+ potensial hosil bo'ladi. Hamma qarshiliklarning pastki 2-uchlari to'g'ridan to'g'ri manbaning (-) qutbga ulangan. Shuning uchun bu uchlarning hammasida bir xil manbaning (-) qutbining potensialiga teng bo'lgan φ_- potensial hosil bo'ladi (2.4-rasm). Har bir qarshilikdagi potensiallar farqi o'zaro teng bo'ladi va bu potensiallar farqi manbaning kuchlanishiga teng, ya'ni $\varphi_+ - \varphi_- = U$ bo'ladi. Demak, qarshiliklarning hammasidagi kuchlanishlar bir xil va manbaning kuchlanishiga teng, ya'ni

$$U_{um} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$

bo'ladi. Buni har bir istemolchi qarshilikga parallel qilib ulangan voltmetr ko'rsatishlari bir xil chiqishidan ham bilib olish mumkin.

Manbaning (+) qutbidan chiqqan zaryad (aslida manbaning (-) qutbidan elektronlar chiqadi) barcha qarshiliklarga bo'linib tarqalib ketadi va qarshiliklarning pastki uchlari chiqqach qo'shilib manbaning (-) qutbga yetib boradi (aslida esa elektronlar manbaning (+) qutbga yetib boradi). Demak, tarmoqlanmagan qismdagi zaryad barcha qarshiliklarga taqsimlanib ketgandan keyin tok kuchi

$$I_{um} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

bo'ladi. Buni har bir istemolchi qarshilikdan keyin ulangan volmetrlar ko'rsatishlari yig'indisi tarmoqlanmagan qismiga ulangan ampermetr ko'rsatishiga teng chiqishidan ham bilib olish mumkin. Bu zaryadning saqlanish qonuni natijasidir.

Qarshiliklar sistemasining umumiy qarshiligi

$$I_{um} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n, \rightarrow \frac{q_{um}}{R_{um}} = \frac{q_1}{R_1} + \frac{q_2}{R_2} + \frac{q_3}{R_3} + \dots + \frac{q_n}{R_n} : q_{um} \rightarrow \frac{1}{R_{um}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

bo'ladi.

Shunday qilib, qarshiliklarni parallel ulaganda umumiy tok kuchi, umumiy kuchlanish va umumiy qarshilik quyidagicha bo'lar ekan:

$$\begin{aligned} I_{um} &= I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \\ U_{um} &= U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \\ \frac{1}{R_{um}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \end{aligned}$$

Qarshiliklar parallel ulaganda hosil bo'ladigan umumiy qarshilik berilgan qarshiliklar ichida eng kichik qarshilikdan ham kichikroq bo'ladi.

Agar bir xil qarshiliklarni o'zgarmas tok tarmog'iga parallel qilib ulansa ularning har birini R ga teng deb olamiz. Umumiy qarshilik esa

INV № 53801 / 43697-A

$$\frac{1}{R_{um}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R} = \frac{n}{R}, \rightarrow R_{um} = \frac{R}{n}$$

bo'ladi.

Demak, n ta bir xil qarshilik parallel ulansa, umumiy qarshilik quyidagicha bo'lar ekan:

$$R_{um} = \frac{R}{n}$$

Agar R_1 va R_2 qarshiliklar parallel ulansa, umumiy qarshilik quyidagicha bo'ladi:

$$R_{um} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



2.5-rasm

Parallel qilib n ta qarshilik ulangan bo'lib, ulardan ixtiyoriy 1- yoki 2-yoki 3-qarshilikdagi, umuman olganda shu qarshiliklar orasida ixtiyoriy bittasi, ya'ni k - qarshilikdagi tok kuchini aniqlashimiz kerak bo'lsin. Ixtiyoriy iste'molchidan o'tayotgan tok kuchi Om qonuniga ko'ra o'sha iste'molchidagi kuchlanish tushuvining shu iste'molchi qarshiligiga nisbatiga teng bo'ladi (2.2-rasm).

$$I_k = \frac{U_k}{R_k} = \frac{U_{um}}{R_k} = \frac{I_{um} R_{um}}{R_k} = \frac{1}{R_k \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_k} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)} I$$

Demak, agar zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok kuchi I bo'lsa, manbaga parallel qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy k - ($1 < k < n$) qarshilikdagi tok kuchi quyidagicha bo'lar ekan:

$$I_k = \frac{1}{R_k \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_k} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)} I$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, tok kuchi kichik qarshilikda ko'proq, katta qarshilikda esa kamroq bo'lar ekan, ya'ni tarmoqlanmagan qismdagi tok qarshiliklarga teskari proporsional holda taqsimlanar ekan. Qarshiliklar qanday nisbatda bo'lsa, ulardan o'tadigan toklar teskari nisbatda bo'ladi.

$$I_1 : I_2 : I_3 : \dots : I_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \dots : \frac{1}{R_n}$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

deb yozish mumkin.

Masalalar yechishda eng ko'p duch keladiganimiz – parallel ulangan ikkita qarshiliklarning har biridan o'tadigan tok kuchlari so'ralishidir.

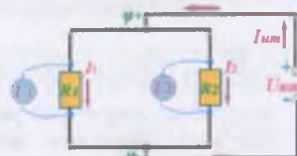
Yuqorida keltirib chiqarilgan formuladan foydalanamiz. Tok kuchlari

$$I_1 = \frac{1}{R_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} I = \frac{R_1 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} I = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} I \quad \text{va} \quad I_2 = \frac{1}{R_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} I = \frac{R_1 R_2}{R_2 (R_1 + R_2)} I = \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} I$$

bo'ladi.

Demak, agar zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok kuchi I bo'lsa, manbaga parallel qilib ulangan R_1 va R_2 qarshiliklarning har biridan o'tadigan tok kuchlari quyidagicha bo'lar ekan:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$



2.6-rasm

Turli zanjirlarda natijaviy qarshilikni topish:

I	II	III	
			$R_{ACB} = r + r + r = 3r; R_D = \frac{3}{2}r; \quad a)$
			$\frac{1}{R_D} = \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r} = \frac{1}{r}; R_D = r; \quad b)$
			$\frac{1}{R_D} = \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{r} = \frac{2}{r}; R_D = \frac{1}{2}r; \quad c)$
			$R_{ACB} = r + \frac{2}{3}r + r = \frac{8}{3}r; \quad d)$
			$\frac{1}{R_D} = \frac{3}{8r} + \frac{3}{8r} + \frac{1}{2r} = \frac{5}{4r}; R_D = \frac{4}{5}r; \quad d)$
			$R_{ACB} = \frac{1}{2}r + r + \frac{1}{2}r = 2r; R_D = \frac{1}{2}R_{ACB} = r; \quad e)$
			$R_D = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{5}{6}r; \quad f)$

2.7-rasm

Har bir zvenosining qarshiligi r ga teng bo'lgan yuqoridagi 2.7-rasmda tasvirlangan va simdan yasalgan turli geometrik shakllarning natijaviy to'la qarshiligi R ni topish shu rasmdagi har bir shakllardagi ulanish sxemalari murakkab bo'lgani bilan ularni yechish uchun simmetriyadan foydalanamiz. Ma'lumki, zaryad potentsiali katta nuqtadan potentsiali kichik bo'lgan nuqtaga oqadi. Agar ikki nuqtaning potentsiali teng bo'lsa, bu nuqtalarni birlashtirish yoki ularni orasidagi mavjud zvenoni olib tashlash bilan sxema qarshiligi o'zgarib qolmaydi. Rasmda I raqami bilan murakkab shakl, II raqami bilan soddalashtirilgan shakl, III raqami bilan esa to'la qarshilik R_0 ni topish, ya'ni masalani yechish yo'li ko'rsatilgan. Teng potentsialli nuqtalar φ bilan ko'rsatilgan.



1. Ketma-ket ulash deb nimga aytiladi? Bunda umumiy tok kuchi, kuchlanish va qarshiliklar qanday bo'ladi?
2. Parallel ulash deb nimga aytiladi? Bunda umumiy tok kuchi, kuchlanish va qarshiliklar qanday bo'ladi?
3. Ketma-ket ulangan qarshiliklarga tushadigan kuchlanishlar qanday nisbatda bo'ladi? Ikki ta qarshilikning har biriga tushadigan kuchlanishlarni yozing.
4. Parallel ulangan qarshiliklarning har biridan o'tadigan tok kuchlari qanday bo'ladi? Ikki ta qarshilikning har biridan o'tadigan tok kuchlarini yozing.



§ 3. O'LCHOV ASBOBLARI. O'LCHOV CHEGARALARINI OSHIRISH

Ampermetr. Ampermetr yordamida o'lchash chegarasini oshirish:

Tok kuchi ampermetr asbobi bilan o'lchanadi (3.1-rasm). Ampermetr qarshilikga ketma-ket qilib ulanadi. Ampermetr yordamida tok kuchini o'lchashdan maqsad, ampermetr ulanmagan holatda qanaqa jarayon sodir bo'lsa, ulangandan keyin ham deyarli xuddi o'sha jarayonga ega bo'lish, boshqacha aytganda ampermetr yordamida haqiqiy tok kuchini olishdir. Ampermetr ulanmagan vaqtda tarmoqdagi tok kuchi $I_1 = \frac{U}{R}$ bo'lsa,

ampermetr ulanganda esa tok kuchi $I_2 = \frac{U}{R+r_A} = \frac{R}{R+r_A} \frac{U}{R} = \frac{R}{R+r_A} I_1$ bo'ladi (3.2-rasm).

Ampermetrning ham ichki qarshiligi bo'lganligi sababli har doim $I_2 < I_1$ bo'ladi. Chunki, har doim $\frac{R}{R+r_A} < 1$ bo'ladi. Shuning uchun I_1 va I_2 tok kuchlari orasidagi farqni oshirib

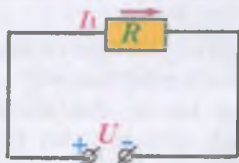
yubormaslikka, ya'ni $I_2 < I_1$ bo'lsa ham $I_2 \approx I_1$ natijaga ega bo'lishga intilishimiz kerak. I_1 va I_2 tok kuchlari orasidagi farqni oshirib yubormaslik uchun esa ampermetrning ichki qarshiligi r_A ni mumkin qadar kichikroq ($r_A \ll R$) qilib tanlash kerak bo'ladi.

Ampermetrni hech qachon tok tarmog'iga parallel qilib ulab bo'lmaydi. Chunki, ampermetr qarshilikka parallel ulanganda uning ichki qarshiligi ancha kichik bo'lgani sababli undan ancha katta tok o'tadi va ushbu tokka o'zi dosh bera olmasdan kuyib qolishi, ishdan chiqishi mumkin.

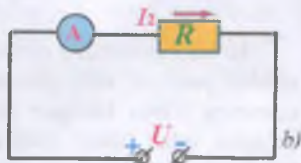
Ko'p hollarda har xil tok kuchlari bilan ishlaganda ularni o'lchash uchun har xil ampermetrlar kerak bo'ladi. Masalan, katta toklarni o'lchashda ampermetrdan foydalanilsa, kichik toklarni o'lchashda esa milliampermetrdan foydalaniladi. Agar ixtiyorimizda faqat bitta, aytaylik faqat milliampermetr bo'lsa unda nima qilamiz?



3.1-rasm



a)



3.2-rasm

–Bunda milliampermetrni katta tok kuchiga ulansa, asbob kuyib ishdan chiqib qoladi. Maqsadimizga erishish uchun tanlagan milliampermetrimizning o'lchash chegarasini oshirishimiz kerak bo'ladi. Ampermetrning o'lchash chegarasini oshirish uchun unga

parallel holda shunt ulanadi. Qo'shimcha ulanadigan shuntning qarshiligini keltirib chiqaraylik. Ampermetrdan o'tayotgan tok kuchi $I_A = \frac{R_{sh}}{R_{sh} + r_A} I$ bo'ladi. Bundan

$$n = \frac{I}{I_A} = \frac{R_{sh} + r_A}{R_{sh}}, \rightarrow nR_{sh} = R_{sh} + r_A, \rightarrow R_{sh} = \frac{r_A}{n-1}$$

ekanligi kelib chiqadi.

Demak, ampermetrning o'lchash chegarasini oshirish uchun qo'shimcha ulanadigan shuntning qarshiligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$R_{sh} = \frac{r_A}{n-1}, \quad n = \frac{I}{I_A}$$

Bu yerda: n – sezgirlik koeffitsienti;

r_A – ampermetrning ichki qarshiligi;

R_{sh} – shuntning qarshiligi.



3.3-rasm

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, shuntning qarshiligi har doim ampermetrning ichki qarshiligidan kichik, ya'ni $R_{sh} < r_A$ bo'lar ekan. Chunki, tarmoqlanmagan qismdagi I tokning katta qismi shunt orqali o'tib, ampermetrdan esa faqatgina mo'ljaldagi (ampermetrning eng katta ko'rsatishidan oshib ketmagan) tok o'tishi kerak. Shundagina ampermetrni kuyishdan saqlab qolish mumkin. Masalan, ampermetr faqat $I_A = 10mA$ gacha tok kuchini o'lchashga mo'ljallangan bo'lib, uni tarmoqdagi tok kuchi $I = 100mA$ toka ulash kerak bo'lsa, shuntning qarshiligi shunday tanlanish kerakki, bunda ampermetrdan mo'ljaldagi $10mA$ tok o'tib, qolgan $90mA$ tok esa Shunt orqali o'tish kerak. Shundagina ampermetrni kuyishdan saqlab qolamiz.

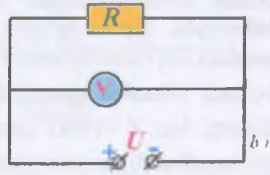
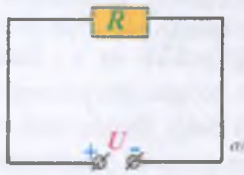
Voltmetr. Voltmetr yordamida o'lchash chegarasini oshirish:

Kuchlanish voltmetr asbobi bilan o'lchanadi (3.4-rasm). Voltmetr qarshilikka parallel qilib ulanadi. Voltmetrning ichki qarshiligi mumkin qadar katta qilib tanalanadi. Odatda, voltmetrning ichki qarshiligi iste'molchilar qarshiliklaridan ancha katta qilib tanlanadi. Chunki, voltmetr qarshilikka parallel ulangani uchun undagi kuchlanish manbaning kuchlanishiga teng bo'ladi. Voltmetrda katta quvvat ajralib chiqib asbobni ishdan chiqarib qo'ymasligi hamda energiya isrofi oshib ketmasligi uchun $P_v = \frac{U^2}{R_v}$ formulaga binoan ichki

qarshilik yetarlicha katta bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda, voltmetrning ichki qarshiligi undan foydalanish mo'ljallangan elektr jihozlari qarshiligidan, misol uchun uy ro'zg'orda ishlatiladigan elektr jihozlar qarshiligidan ancha katta qilib tanlanadi. Voltmetrning ichki qarshiligi uning pasportida yozilgan bo'ladi (3.5-rasm).



3.4-rasm



3.5-rasm

Hech qachon voltmetrni tok tarmog'iga ketma-ket qilib ulab bo'lmaydi. Chunki, bunda uning ichki qarshiligi ancha katta bo'lgani sababli manbaning barcha kuchlanishini o'zi yutib yuboradi va iste'molchiga tushadigan kuchlanish juda kichik bo'lib qoladi. Natijada,

iste'molchining ishchi jarayoni butunlay o'zgarib ketadi. Masalan, elektr lampasi va voltmetr ketma-ket qilib 220 V tok tarmog'iga ulansa, voltmetrga 200V, lampaga esa 20V kuchlanish tushib qoladi va lampa arang cho'g'lanadi.

Ko'p hollarda har xil kuchlanishlar bilan ishlaganda ularni o'lchash uchun har xil voltmترلar kerak bo'ladi. Agar ixtiyorimizda faqat bitta, aytaylik o'rtacha kuchlanishlarni o'lchashga mo'ljallangan voltmetr bo'lsa unda nima qilamiz?

–Bunda voltmetrni katta kuchlanishga ulansa, asbob kuyib ishdan chiqib qoladi. Maqsadga erishish uchun tanlagan voltmtrimizning o'lchash chegarasini oshirishimiz kerak bo'ladi. Voltmetrning o'lchash chegarasini oshirish uchun unga ketma-ket qilib qo'shimcha qarshilik ulanadi. Qo'shimcha ulanadigan qarshilikni keltirib chiqaraylik.

Voltmetrdagi kuchlanish $U_v = \frac{r_v}{R_q + r_v} U$ ga teng bo'ladi. Bundan

$$n = \frac{U}{U_v} = \frac{R_q + r_v}{r_v}, \rightarrow n r_v = R_q + r_v, \rightarrow R_q = (n-1)r_v.$$

ekanligi kelib chiqadi.

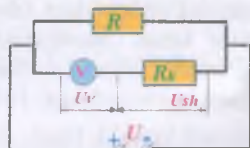
Demak, o'lchash chegarasini oshirish uchun voltmetrga qo'shimcha ulanadigan qarshilik quyidagicha bo'lar ekan:

$$R_q = (n-1)r_v, \quad n = \frac{U}{U_v}$$

Bu yerda: n – sezgirlik koeffitsienti,

r_v – voltmetrning ichki qarshiligi,

R_q – ulangan qo'shimcha qarshilik.



3.6-rasm

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, qo'shimcha qarshilik har doim voltmetrning ichki qarshiligidan katta, ya'ni $R_q > r_v$ bo'lar ekan. Chunki, manbadagi U kuchlanishning katta qismi qo'shimcha qarshilikka tushib, voltmetrga esa faqatgina mo'ljaldagi (voltmetrning eng katta ko'rsatishidan oshib ketmagan) kuchlanish tushishi kerak. Shundagina voltmetrni kuyishdan saqlab qolish mumkin. Masalan, voltmetr faqat $U_v = 100V$ gacha kuchlanishni o'lchashga mo'ljallangan bo'lib, uni kuchlanishi $U = 1000V$ bo'lgan manbaga ulash kerak bo'lsa, qo'shimcha qarshilikning qarshiligi shunday tanlanish kerakki, bunda voltmetrga mo'ljaldagi 100V kuchlanish tushib, qolgan 900V kuchlanish esa qo'shimcha qarshilikka tushishi kerak. Shundagina voltmetrni kuyishdan saqlab qolamiz.

Endi ampermetr, voltmetr ichki qarshiliklari va ularning o'lchash chegarasini oshirish uchun foydalaniladigan qarshiliklarning kattaliklarini taxminan bo'lsa-da miqdoriy baholaylik. Uy ro'zg'orda ishlatiladigan elektr jihozlari (cho'g'lanma lampa, televizor, muzlatkich, konditsioner, chang yutkich va b.) qarshiliklari 100–1000 Ω oralig'ida bo'ladi. Masalan, quvati 100 Vt bo'lgan cho'g'lanma lampa qarshiligi 484 Ω ga teng. Keling, biz $R = 100\Omega$ qarshilikli elektr jihozini tanlaylik. Undagi tok kuchini o'lchash uchun ulanadigan ampermetrning qarshiligi yuz martalab kichik bo'lish kerak. Shuning uchun $r_A = R/100 = 1\Omega$ deb olaylik. Agar bu ampermetrning ham o'lchash chegarasini oshirish kerak bo'lsa, unga ulanadigan shuntning qarshiligi yanada kichik bo'ladi. Aytaylik, 10 marta katta tokka ulamoqchi bo'lsak, shuntning qarshiligi 9 marta kichik bo'lishi kerak, ya'ni $R_{sh} = r_A/9 = 1/9\Omega$ bo'ladi. Endi 100 Ω qarshilikli elektr jihozidagi

kuchlanishni o'lishmoqchi bo'lsak, bu voltmerning qarshiligi yuz martalab katta bo'lishi kerak. Shuning uchun $r_v = 100R = 10k\Omega$ deb olaylik. Agar bu voltmerning ham o'lchash chegarasini oshirish kerak bo'lsa, unga ulanadigan qo'shimcha qarshilik yanada katta bo'ladi. Aytaylik, 10 marta katta kuchlanishga ulamoqchi bo'lsak, qo'shimcha qarshilik 9 marta katta bo'lishi kerak, ya'ni $R_q = 9r_v \approx 90k\Omega$ bo'ladi. Taqqoslaydigan bo'lsak, ampermetr va voltmترلarning ichki qarshiliklari

$$\frac{r_v}{r_A} = \frac{100R}{R/100} = 10^4 = 10\,000$$

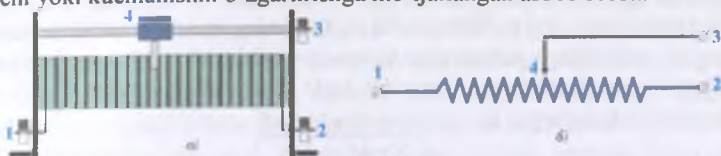
marta farq qilar ekan. Ampermetr va voltmترلga ulanadigan qarshiliklar esa

$$\frac{R_q}{R_{sh}} = \frac{9r_v}{r_A/9} = 81 \frac{r_v}{r_A} = 81 \cdot 10^4 = 810\,000$$

marta farq qilar ekan.

Reostat. Reostat yordamida tok kuchi va kuchlanishni o'zgartirish:

Tok kuchi yoki kuchlanishni o'zgartirishga mo'ljallangan asbob reostat deb ataladi.



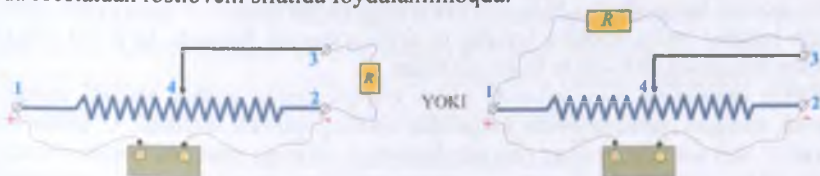
3.7-rasm

Reostatlar qo'llanilishiga qarab slindrga o'ralgan aniq qarshilikli nikel yoki nixrom simlar cho'lg'amidan iborat bo'ladi. 3.7-a,b rasmlarda rolik kontaktli reostatlardan birining umumiy va sxematik ko'rinishi keltirilgan. Reostatlar tok kuchini o'zgartirish uchun rostlovchi, kuchlanishni o'zgartirish uchun esa potensiometr ko'rinishida zanjirga ulanadi.



3.8-rasm

Agar reostat 2–3 yoki 1–3 qisqichlari orqali zanjirga ketma-ket ulanib, 4 kontaktli siljitish bilan qarshiligi o'zgartirilsa, zanjirdagi tokning kuchi o'zgaradi (3.8- rasm). Bu holatda reostatdan rostlovchi sifatida foydalanilmoqda.



3.9-rasm

Reostat potensiometr ko'rinishida zanjirga ulanganda uning 1–2 qisqichi manbaga, 2–3 yoki 1–3 qisqichlari iste'molchiga ulanib, sirpanuvchi kontakt 4 vaziyatini o'zgartirish bilan kuchlanish o'zgartiriladi (3.9- rasm).

Har bir reostatning eng katta qarshiligi va yo'l qo'yilishi ruxsat etilgan eng katta tok kuchi bo'lib, ular reostatning pasportiga yozilgan bo'ladi.



1. Ampermetrning vazifasi nima? U tok tarmog'iga qanday ulanadi va nima uchun?
2. Ampermetrning o'lchash chegarasi qanday oshiriladi? Bunda ulanadigan shuntning qarshiligini aniqlash formulasini yozing.
3. Voltmetrning vazifasi nima? U tok tarmog'iga qanday ulanadi va nima uchun?
4. Voltmetrning o'lchash chegarasi qanday oshiriladi? Bunda ulanadigan qo'shimcha qarshilikni aniqlash formulasini yozing.



§ 4. JOUL-LENS QONUNI. QUVVAT.

O'tkazgichdan elektr toki o'tganda zaryadlar potentsiali katta bo'lgan nuqtadan potentsiali kichik bo'lgan nuqtaga ko'chadi. Boshqacha aytganda, o'tkazgich ichidagi elektr maydoni erkin zaryadlarni katta potentsialli nuqtadan kichik potentsialli nuqtaga ko'chiradi. Lekin, bu ko'chirish jarayonida erkin elektronlar va kristall panjara tugunlari orasida sodir bo'ladigan noelastik to'qnashuvlar natijasida energiya sarfi bo'ladi, ya'ni elektr maydoni zaryadni o'tkazgich bo'ylab ko'chirishda ish bajaradi. Bu bajarilgan ish esa issiqlik tarzida namoyon bo'ladi va o'tkazgichlarning qizishiga sabab bo'ladi.

O'tkazgich uchlaridaga potentsiallar ayirmasi—kuchlanish U ga teng bo'lganda elektr maydonining t vaqt davomida q zaryadni katta potentsialli nuqtadan kichik potentsialli nuqtaga ko'chirishda bajargan ishi quyidagicha bo'ladi:

$$A = qU = IUt$$

Yuqoridagi formulani yana boshqa ko'rinishlarda ham ifodalash mumkin.

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra elektr tokining bajargan ishi atrofda energiya o'zgarishiga teng bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda, elektr tokining bajargan ishi issiqlikka aylanadi, ya'ni tokning bajargan ishi o'tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi. Yuqoridagi formulani quyidagicha yozish ham mumkin:

$$Q = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

Yuqoridagi formulani Joule va Lenslar alohida-alohida topganliklari uchun ularning sharafiga **Joule-Lens qonuni** deyiladi.

Joule-Lens qonuni: O'tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdori o'tkazgichdagi tok kuchi kvadrati, o'tkazgich qarshiligi va tok o'tib turish vaqtlari ko'paytmasiga tengdir.

Bu qonuni ingliz olimi J.N.Joule (1818–1889) va rus fizigi E.X.Lens (1804–1865) bir-biridan bexabar holda tokning issiqlik ta'sirini o'rganish borasida ko'p bor o'tkazilgan tajribalar natijasida 1843-yilda kashf qilishgan.

Elektr zanjirining biror qismida elektr energiyasining boshqa turdagi energiyasiga aylanish tezligini xarakterlovchi kattalikka tokning quvvati deyiladi. U holda tokning quvvati P deb tok o'tib turgan t vaqtda bajarilgan A ishga yoki shu vaqtda o'tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdori Q ga aytiladi.

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Q}{t}, \quad P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Uy ro'zg'orda ishlatiladigan barcha elektr jihozlari 220 V kuchlanishga mo'ljallangan bo'lib, ularni pasportiga kuchlanish va quvvat yozib qo'yilgan bo'ladi. Bu degani ularni

Taniqli ingliz olimi Jeyms Preskott Joul 1818-yil 24-dekabrda Angliyaning Solford shahrida dunyoga kelgan. U dunyo tanigan olim bo'lib, termodinamikaning oyoqqa turishida katta hissa qo'shgan, o'z tajribalarida energianing saqlanish qonunini asoslab bergan hamda elektr tokining issiqlik ta'sirini o'rganib, o'tkazgichda ajraladigan issiqlik tok kuchi kvadratiga proporsional ekanini ko'rsatib bergan. O'sha paytlarda issiqlik miqdori kaloriyada, mexanik ish va energiya ergda o'lchangan bo'lib, issiqlik va energiyalar boshqa-boshqa kattaliklar deb qaralgan. Jismlar ishganda teplorod deb nomlanadigan ko'rinmas suyuqligi jismga kiradi, sovganda esa undan chiqib ketadi deb qaralgan. Joul buyuk xizmatlari uchun 1852-yil Qirollik medali, 1866-yil Kopli medali, 1880-yil Albert medallari bilan taqdirlangan. U 1889-yil 11-oktyabrda Angliyaning Seyl (hozirgi Manchester) shahrida 70 yoshida olamdan o'tadi.



Jeyms Preskott Joul
(1818–1889)

220 V kuchlanishga ulaganda paspotiga yozilgan quvvat bilan ishlaydi deganidir. Masalan, cho'g'lanma lampa sokoliga 220 V, 100 Vt deb yozilgani uni 220 V kuchlanishga ulaganda 100 Vt quvvat bilan yonishini anglatadi. Qishloq joylarda, chekka aholi punktlarida oqshom paytlari hamma xonadonlar baravariga barcha elektr jihozlaridan foydalangani uchun kuchlanish sezilarli pasayib ketadi. Aytaylik, bunda kuchlanish 200 V gacha pasaysa, lampochka ham avvalgi quvvat bilan yonmaydi.

Kuchlanish 1,1 marta kamaygani uchun $P = \frac{U^2}{R}$ formulaga ko'ra quvvat 1,21 marta

kamayadi, ya'ni cho'g'lanma lampa endi $\frac{100}{1,21}$ Vt $\approx 82,64$ Vt quvvat bilan yonadi. Yana shuni

ham alohida eslatib o'tish kerakki, xonadonlarga mo'ljallangan hamma elektr jihozlari bir xil kuchlanishga mo'ljallangani uchun $P = \frac{U^2}{R}$ formulaga ko'ra quvvat va qarshilik o'zaro

teskari bog'lanishga egadir. Boshqacha aytganda, quvvati katta bo'lgan elektr jihozining qarshiligi kichik va aksincha bo'ladi. Masalan, 100 Vt lik lampochkaning qarshiligi

$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$ ga, 200 Vt lik lampochkaning qarshiligi esa $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{200} = 242 \Omega$ ga teng bo'ladi.

Agar bir nechta turli qarshiliklar ketma-ket ulangan bo'lsa, ularning har birida biror vaqt oralg'ida ajralgan issiqlik miqdorlari qanday nisbatda bo'lishini tekshirib ko'raylik. Ketma-ket ulanganda $Q = I^2 R \Delta t$ formulaga ko'ra barcha qarshiliklarda tok kuchi teng bo'lgani uchun ularda ajralgan issiqlik miqdorlari faqat ularning qarshiligiga bog'liq bo'lib qolar ekan, ya'ni $Q \sim R$ bo'ladi. Demak, qarshiliklar qanday nisbatda bo'lsa, ularda ajralgan issiqlik miqdorlari ham shunday nisbatda bo'lar ekan.

$$Q_1 : Q_2 : Q_3 : \dots Q_n = R_1 : R_2 : R_3 : \dots R_n$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

deb yozish mumkin.

Agar bir nechta turli qarshiliklar o'zaro parallel ulangan bo'lsa, ularning har birida biror vaqt oralg'ida ajralgan issiqlik miqdorlari qanday nisbatda bo'lishini tekshirib

ko'raylik. Parallel ulanganda $Q = \frac{U^2}{R} \Delta t$ formulaga ko'ra barcha qarshiliklarda kuchlanishlar teng bo'lgani uchun ularda ajralgan issiqlik miqdorlari faqat ularning qarshiligiga bog'liq bo'lib qolar ekan, ya'ni $Q \sim \frac{1}{R}$ bo'ladi. Demak, qarshiliklar qanday nisbatda bo'lsa, ularda ajralgan issiqlik miqdorlari teskari nisbatda bo'lar ekan.

$$Q_1 : Q_2 : Q_3 : \dots : Q_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \dots : \frac{1}{R_n}$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

deb yozish mumkin.

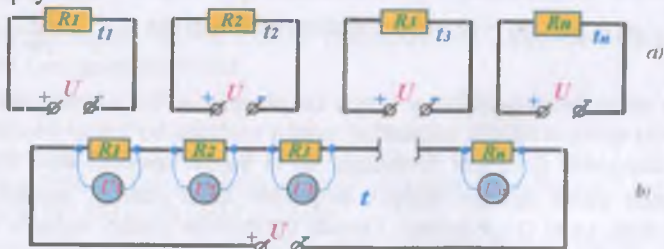
Ko'pincha masalalar yechishda bir necha qarshiliklar biror ishni bajarish vaqtlari berilib, ular birgalikda shu ishni bajarish vaqti so'raladi. Masalan, bir necha elektr plitalaridagi spirallarning choyni qaynatish vaqtlari berilib, shu spirallar birga bo'lgan holdagi choyni qaynatish vaqti so'ralishi mumkin. Shu masalani qarab chiqaylik.

Har bir spiralni U kuchlanish manbaiga alohida-alohida ulaganda ularda ajralgan issiqlik miqdorlari $Q_1 = \frac{U^2}{R_1} t_1, Q_2 = \frac{U^2}{R_2} t_2, Q_3 = \frac{U^2}{R_3} t_3, \dots, Q_n = \frac{U^2}{R_n} t_n$ bo'ladi. Bundan

qarshiliklarni aniqlasak $R_1 = \frac{U^2}{Q_1} t_1, R_2 = \frac{U^2}{Q_2} t_2, R_3 = \frac{U^2}{Q_3} t_3, \dots, R_n = \frac{U^2}{Q_n} t_n$ bo'ladi (4.1-a, rasm va

4.2-a, rasm). Barcha spirallarni ketma-ket yoki parallel qilib yana o'sha U kuchlanish manbaiga ulaganda ajralgan issiqlik miqdorlari $Q = \frac{U^2}{R_{\text{um}}} t$ bo'ladi. Barcha holatlarda ham

issiqlik miqdorlari aynan suvni qaynatishga sarflanayotgan bo'lgani uchun bu issiqlik miqdorlari o'zaro teng, ya'ni $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = Q_{\text{um}} = c m \Delta t$ bo'ladi. Shularni bilgan holda so'ralgan vaqtni ketma-ket va parallel holatlar uchun alohida-alohida qarab chiqamiz aniqlaymiz.



4.1-rasm

Dastlab, ketme-ket ulangan hol uchun qaraylik (4.1-rasm). Umumiy qarshilikni qarshiliklar orqali ifodalab, so'ralgan kattalikni topamiz. Hisoblashlardan so'ng biz

$$Q = \frac{U^2}{R_{\text{um}}} t = \frac{U^2}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n} t = \frac{U^2}{\frac{U^2}{Q_1} t_1 + \frac{U^2}{Q_2} t_2 + \frac{U^2}{Q_3} t_3 + \dots + \frac{U^2}{Q_n} t_n} t = \frac{Q U^2}{(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n) U^2} t = \frac{Q}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n} t$$

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

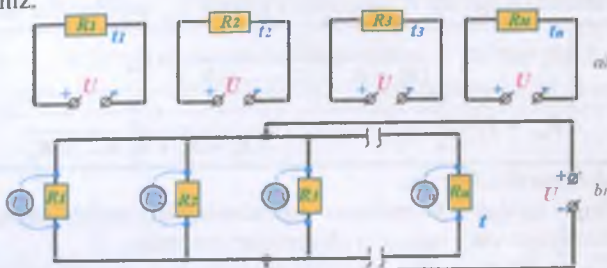
natijaga erishamiz.

Endi parallel hol uchun qaraylik (4.2-rasm). Umumiy qarshilikni qarshiliklar orqali ifodalab, so'ralgan kattalikni topamiz. Hisoblashlardan so'ng biz

$$Q = \frac{U^2}{R_{um}} t = \left(\frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \frac{U^2}{R_2} + \dots + \frac{U^2}{R_n} \right) t = \left(\frac{Q_1}{t_1} + \frac{Q_2}{t_2} + \frac{Q_2}{t_2} + \dots + \frac{Q_n}{t_n} \right) t = \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_2} + \dots + \frac{1}{t_n} \right) Q t_n$$

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} + \dots + \frac{1}{t_n}$$

natijaga erishamiz.



4.2-rasm

Endi chiqqan natijalarni umumlashtirib formula sifatida yozamiz.

Agar choyni birinchi spiral t_1 vaqtda, ikkinchi spiral t_2 vaqtda va hokozo n -spiral t_n vaqtda qaynatsa, ular katma-ket ulanganda birgalikda shu choyni quyidagicha vaqtda qaynatadi (4.1-rasm).

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

Agar choyni birinchi spiral t_1 vaqtda, ikkinchi spiral t_2 vaqtda va hokozo n -spiral t_n vaqtda qaynatsa, ular parallel ulanganda birgalikda shu choyni quyidagicha vaqtda qaynatadi (4.2-rasm).

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} + \dots + \frac{1}{t_n}$$

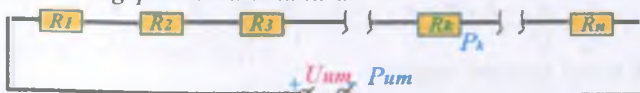
Demak, choyni qaynatish vaqtlari ham xuddi qarshiliklarni qo'shgan kabi qo'shilar ekan. Shuni bilgan holda ixtiyoriy tartibda aralash qilib ulangan spirallar uchun ham natijaviy qaynash vaqtini aniqlash mumkin.

Iste'molchilarni ketma-ket va parallel ulanganda quvvat:

Bizga o'zgarmas kuchlanish manbaiga o'zaro ketma-ket yoki parallel ulangan n ta turli iste'molchilar berilgan bo'lib, bu iste'molchilarning ixtiyoriy bittasi, aytaylik k ($1 < k < n$)-istemolchidagi quvvatni hamda zanjirdagi umumiy quvvatni aniqlash so'ralgan bo'lsin. Masalani ikki xil hol uchun qarab ko'ramiz: a) iste'molchilarning qarshiliklari ma'lum; b) iste'molchilarning quvvatlari ma'lum. Bularning har birini ketma-ket va parallel ulashlarga tekshiramiz.

1) Iste'molchilar ketma-ket ulanganda.

1.1) Iste'molchilarning qarshiliklari ma'lum.



4.3-rasm

Ixtiyoriy k -qarshilikdagi quvvatni topamiz (4.3-rasm).

$$P_k = I_k^2 \cdot R_k = I^2 \cdot R_k = \left(\frac{U_{um}}{R_{um}} \right)^2 R_k = \frac{R_k}{(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)^2} U_{um}^2$$

Umumiy quvvatni topamiz.

$$P_{um} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = \frac{U^2}{(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)^2} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) = \frac{U_{um}^2}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}$$

Demak, o'zgarmas U kuchlanish manbaiga ketma-ket qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy k -qarshilikdagi quvvat P_k va umumiy quvvat P_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

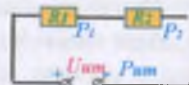
$$\begin{cases} P_k = I^2 R_k = \frac{R_k}{(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)^2} U_{um}^2 \\ P_{um} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = \frac{U_{um}^2}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n} \end{cases}$$

1.2) Iste'molchi qarshiliklar 2ta.

Bundan oldingi topilgan formuladan foydalanib, iste'molchilarning har biridagi quvvatni va umumiy quvvatni osongina chiqarishimiz mumkin.

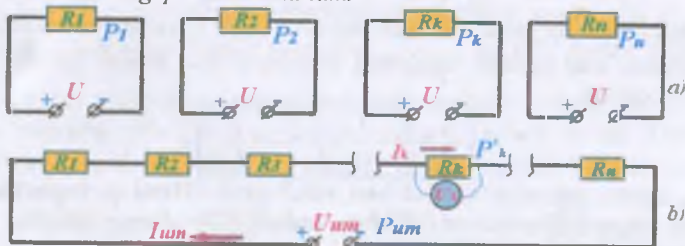
Agar qarshiliklar ikkita bo'lsa, har bir qarshilikdagi quvvat va umumiy quvvat quyidagicha bo'ladi (4.4-rasm):

$$P_1 = \frac{R_1}{(R_1 + R_2)^2} U_{um}^2, \quad P_2 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2} U_{um}^2, \quad P_{um} = \frac{U_{um}^2}{R_1 + R_2}$$



4.4-rasm

2.1) Iste'molchilarning quvvatlari ma'lum.



4.5-rasm

4.5-rasmda keltirilgan iste'molchilar alohida-alohida ulangan hol uchun quvvatlarni yozamiz.

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2}, \quad P_3 = \frac{U^2}{R_3}, \quad \dots, \quad P_n = \frac{U^2}{R_n}$$

Bulardan iste'molchilarning qarshiliklarini quvvatlari orqali yozamiz.

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1}, \quad R_2 = \frac{U^2}{P_2}, \quad R_3 = \frac{U^2}{P_3}, \quad \dots, \quad R_n = \frac{U^2}{P_n}$$

Umumiy quvvatni topish formulasini chiqaramiz.

$$P_{um} = \frac{U^2}{R_{um}}, \rightarrow \frac{1}{P_{um}} = \frac{R_{um}}{U^2} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{U^2} = \frac{R_1}{U^2} + \frac{R_2}{U^2} + \frac{R_3}{U^2} + \dots + \frac{R_n}{U^2} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} + \frac{1}{P_3} + \dots + \frac{1}{P_n}$$

k -iste'molchidagi quvvatni topamiz.

$$P_k = I_k^2 R_k = I_{um}^2 R_k = \left(\frac{P_{um}}{U} \right)^2 \frac{U^2}{P_k} = \frac{P_{um}^2}{P_k}$$

k – iste'molchidagi kuchlanishni topamiz.

$$U'_k = I'_k R_k = I R_k = \frac{P_{um}}{U} \cdot \frac{U^2}{R_k} = \frac{P_{um}}{P_k} \cdot U$$

Umumiy tok kuchini topamiz.

$$I_{um} = I_1 = I_2 = \dots = I_n = \frac{P_{um}}{U}$$

Shunday qilib, ayni bir U kuchlanishga ulanganda $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ quvvatlar hosil qiladigan iste'molchilarni ketma-ket qilib o'sha U kuchlanishga ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um} , ixtiyoriy k -iste'molchidagi quvvat P'_k , ixtiyoriy k -iste'molchidagi kuchlanish U'_k , tarmoqdagi umumiy tok kuchi I_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$\frac{1}{P_{um}} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} + \frac{1}{P_3} + \dots + \frac{1}{P_n}, \quad P'_k = \frac{P_{um}^2}{P_k}$$

$$U'_k = \frac{P_{um}}{P_k} \cdot U, \quad I_{um} = I_1 = I_2 = \dots = I_n = \frac{P_{um}}{U}$$

Shuni ta'kidlash kerakki, iste'molchilar ketma-ket ulanganda hosil bo'ladigan natijaviy quvvat har bir iste'molchi pasportida yozilgan quvvatlarning eng kichigidan ham kichikroq chiqadi.

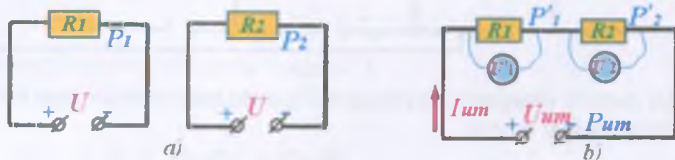
Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, quvvatlar ketma-ket ulangandan keyin katta quvvatli iste'molchi kam quvvat bilan ishlaydi va aksincha bo'lar ekan.

$$P'_1 : P'_2 : P'_3 : \dots : Q_n = \frac{1}{P_1} : \frac{1}{P_2} : \frac{1}{P_3} : \dots : \frac{1}{P_n}$$

Xuddi shuningdek, iste'molchilardagi kuchlanishlar ham dastlab quvvati katta bo'lgan iste'molchida kichik va aksincha bo'lar ekan.

$$U'_1 : U'_2 : U'_3 : \dots : U_n = \frac{1}{P_1} : \frac{1}{P_2} : \frac{1}{P_3} : \dots : \frac{1}{P_n}$$

2.2) Iste'molchi quvvatlar 2ta.



4.6-rasm

Buni yuqoridagi formulalarning iste'molchilar soni 2ta bo'lgan xususiy holi deyish mumkin.

Bunda umumiy quvvat

$$\frac{1}{P_{um}} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} = \frac{P_1 + P_2}{P_1 P_2}, \rightarrow P_{um} = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}$$

bo'ladi.

Iste'molchilarning har biridagi quvvat

$$P'_1 = \frac{P_{um}^2}{P_1} = \frac{1}{P_1} \left(\frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} \right)^2 = \left(\frac{P_2}{P_1 + P_2} \right)^2 P_1 \text{ va } P'_2 = \frac{P_{um}^2}{P_2} = \frac{1}{P_2} \left(\frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} \right)^2 = \left(\frac{P_1}{P_1 + P_2} \right)^2 P_2$$

bo'ladi.

Iste'molchilarning har biridagi kuchlanish

$$U_1 = \frac{P_{um}}{P_1} U = \frac{1}{P_1} \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} U = \frac{P_2}{P_1 + P_2} U \quad \text{va} \quad U_2 = \frac{P_{um}}{P_2} U = \frac{1}{P_2} \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} U = \frac{P_1}{P_1 + P_2} U$$

bo'ladi.

Demak, ayni bir U kuchlanishga ulanganda P_1 va P_2 quvvatlar hosil qiladigan iste'molchilarni o'sha U kulanishga ketma-ket qilib ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um} , har bir iste'molchidagi quvvat P_1 va P_2 , har bir iste'molchidagi kuchlanish U_1 va U_2 , tarmoqdagi tok kuchi I_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_{um} = \frac{P_1 \cdot P_2}{P_1 + P_2}, \quad P_1 = \left(\frac{P_2}{P_1 + P_2} \right)^2 \cdot P_1, \quad P_2 = \left(\frac{P_1}{P_1 + P_2} \right)^2 \cdot P_2, \\ U_1 = \frac{P_2}{P_1 + P_2} \cdot U, \quad U_2 = \frac{P_1}{P_1 + P_2} \cdot U, \quad I_{um} = I_1 = I_2 = \frac{P_{um}}{U}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, quvvatlar ketma-ket ulangandan keyin katta quvatli iste'molchi kam quvvat bilan ishlaydi va aksincha bo'lar ekan.

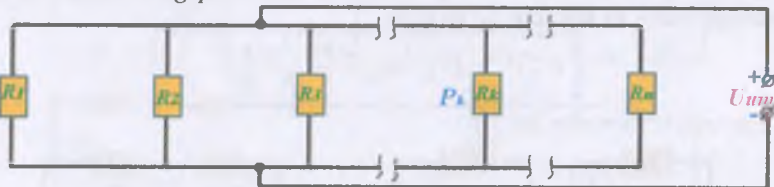
$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

Xuddi shuningdek, iste'molchilardagi kuchlanishlar ham dastlab quvvati katta bo'lgan iste'molchida kichik va aksincha bo'lar ekan.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

II) Iste'molchilar parallel ulanganda.

1.1) Iste'molchilarning qarshiliklari ma'lum.



4.7-rasm

Qarshiliklar parallel ulanganda barcha qarshiliklarda kuchlanishlar teng bo'lgani uchun ixtiyoriy k -qarshilikdagi quvvat

$$P_k = \frac{U_k^2}{R_k} = \frac{U^2}{R_k}$$

bo'ladi. To'la quvvat esa barcha qarshiliklardagi quvvatlar yig'indisiga tengdir.

$$P_{um} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \frac{U^2}{R_3} + \dots + \frac{U^2}{R_n} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) U^2$$

Demak, o'zgarmas U kuchlanish manbaiga parallel qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy k -qarshilikdagi quvvat P_k va umumiy quvvat P_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

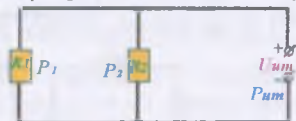
$$P_k = \frac{U^2}{R_k}, \quad P_{um} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) U^2$$

1.2) Iste'molchi qarshiliklar 2ta.

Bundan oldingi topilgan formuladan foydalanib, iste'molchilarning har biridagi quvvatni va umumiy quvvatni osongina chiqarishimiz mumkin (4.8-rasm).

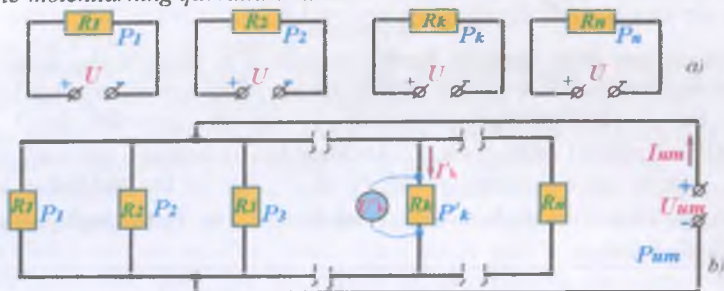
Demak, agar qarshiliklar ikkita bo'lsa, har biridagi quvvat P_1 , P_2 va umumiy quvvat P_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2}, \quad P_{um} = P_1 + P_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot U^2$$



4.8-rasm

2.1) Iste'molchilarning quvvatlari ma'lum.



4.9-rasm

Qarshiliklar parallel ulanganda barcha qarshiliklarda kuchlanishlar teng bo'ladi, ya'ni

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_k = \dots = U_n$$

bo'ladi (4.9-rasm). Tok kuchi esa tarmoqlanib ketgani bois

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_k + \dots + I_n$$

bo'ladi. Umumiy quvvat

$$P_{um} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_k} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) U^2 = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \dots + \frac{U^2}{R_k} + \dots + \frac{U^2}{R_n} = P_1 + P_2 + \dots + P_k + \dots + P_n$$

bo'ladi. Ixtiyoriy k -iste'molchigi quvvat

$$P'_k = \frac{U_k}{R_k} = \frac{U}{R_k} = P_k$$

bo'ladi. Ixtiyoriy k -iste'molchigi tok kuchi

$$I'_k = \frac{P'_k}{U_k} = \frac{P_k}{U} = I_k$$

bo'ladi. Umumiy tok kuchi esa quvvat orqali

$$I_{um} = \frac{P_{um}}{U}$$

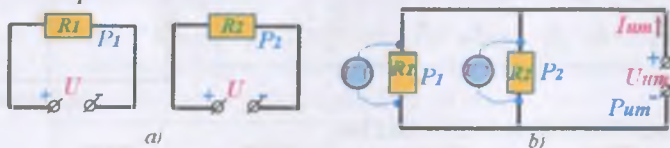
ko'rinishda yoziladi.

Demak, ayni bir U kuchlanishga ulanganda $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ quvvatlar hosil qiladigan iste'molchilarni parallel qilib o'sha U kuchlanishga ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um} , ixtiyoriy k -iste'molchidagi quvvat P'_k , ixtiyoriy k -iste'molchidagi kuchlanish U'_k , ixtiyoriy k -iste'molchidagi tok kuchi I_k , tarmoqdagi umumiy tok kuchi I_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_{um} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n, \quad P'_k = P_k$$

$$U'_k = U, \quad I'_k = \frac{P_k}{U}, \quad I_{um} = \frac{P_{um}}{U}$$

2.2) Iste'molchi quvvatlar 2ta.



4.10-rasm

Parallel ulangan ikkita qarshilik parallel ulangan n ta qarshilikning xususiy holidir. Bundan oldingi formuladan $n=2$ deb foydalansak, quyidagi formulalarga ega bo'lamiz.

Ayni bir U kuchlanishga ulanganda P_1 va P_2 quvvatlar hosil qiladigan iste'molchilarni parallel qilib o'sha U kuchlanishga ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um} , har bir iste'molchidagi quvvat P'_1 va P'_2 , har bir iste'molchidagi kuchlanish U'_1 va U'_2 , har bir iste'molchidan o'tadigan tok kuchi I'_1 va I'_2 , tarmoqdagi tok kuchi I_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_{um} = P_1 + P_2, \quad \begin{cases} P'_1 = P_1 \\ P'_2 = P_2 \end{cases}, \quad \begin{cases} U'_1 = U_1 \\ U'_2 = U_2 \end{cases}, \quad \begin{cases} I'_1 = \frac{P_1}{U} \\ I'_2 = \frac{P_2}{U} \end{cases}, \quad I_{um} = \frac{P_{um}}{U}$$

Biz yuqorida quvvat uchun keltirib chiqargan formulalarning barchasi xususiy formulalar bo'lib, ularni yaxshi o'zlashtirish hisob ishlarini engillatishga xizmat qiladi.



1. Joule-Lens qonunini ta'riflang va uning formulasini yozing.
2. Joule-Lens formulasidan quvvat uchun qanday formulalarni keltirib chiqarish mumkin?
3. Spirallarni ketma-ket va parallel ulanganda suvning qaynash vaqtlari qanday aniqlanadi?
4. Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar ketma-ket ulanganda natijaviy quvvat qanday bo'ladi? Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.
5. Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar ketma-ket ulanganda ularning har biri qanday quvvat bilan ishlaydi? Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.
6. Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar o'zaro parallel ulanganda natijaviy quvvat qanday bo'ladi? Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.
7. Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar o'zaro parallel ulanganda ularning har biri qanday quvvat bilan ishlaydi? Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.



§ 5. TO'LIQ ZANJIR UCHUN OM QONUNI. TO'LIQ ZANJIR UCHUN JOUL-LENS QONUNI

Doimiy tok manbalari:

O'tkazgichlarda elektr tokini vujudga keltirish uchun bu o'tkazgich ichida elektr maydonini hosil qilish kerak bo'ladi. Bu vazifani esa tok manbalari bajaradi.

Tok manbalari turli-tuman bo'lib, ularning barchasida ikkita joyga musbat va manfiy zaryadlarni ajratish ishi bajariladi. Ajratilgan zaryadlar manbaning qutblarida to'planadi. Qutb – bu manbaning iste'molchilar klemmalariga ulanadigan joyidir. Tok manbalarining

hammasida ikkita qutb bo'lib, bu qutblarning birida musbat va ikkinchisida esa manfiy zaryadlar to'planadi. Bu qutblar orasida ichki elektr maydon mavjud bo'lib, qutblar biror o'tkazgich orqali bir-biriga ulanganda esa tashqi elektr maydoni paydo bo'ladi. O'tkazgich ichida hosil bo'lgan elektr maydoni erkin elektronlarni o'tkazgich bo'ylab ko'chirishi natijasida elektr toki hosil bo'ladi.

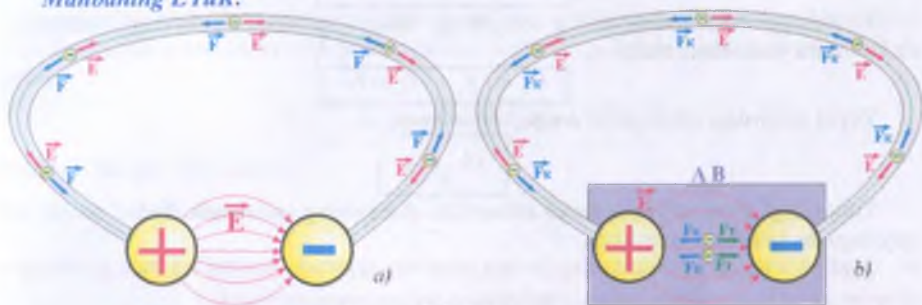
Tok manbalarida zaryadlarni qutblarga ajratish jarayonida mexanik, ximiyaviy, yorug'lik, ichki va boshqa turdagi energiyalar elektr energiyasiga aylanadi. Demak, elektr energiyasi boshqa turdagi energiya hisobiga olinar ekan.

Masalan, elektrofor mashinasida mexanik energiya, termoelementda ichki energiya, fotoelementda yorug'lik energiyasi, akkumlyator va galvanik elementlarda esa ximiyaviy energiyalar elektr energiyasiga aylanadi.

Hamma galvanik elementlarda elektrodlar yemirilib eritma sarf bo'ladi. Shuning uchun, ma'lum vaqt o'tgach elektrodlar almashtirib turiladi.

Akkumlyatorlarda esa elektrodlar yemirilmaydi. Eng ko'p ishlatiladigan akkumlyator sulfat kislotasi eritmasiga botirilgan ikkita qo'rg'oshin plastina(elektrod)dir. Akkumlyator tok manbai bo'lishi uchun uni avval zaryadlash kerak. Buning uchun esa akkumlyatorni boshqa tok manbaiga ulab zaryadlash kerak bo'ladi. Zaryadlashda akkumlyatorning (+) va (-) qutblarini tok manbasining xuddi shu ishorali qutblariga ulash kerak bo'ladi. Zaryadlash jarayonida elektr toki ish bajarib akkumlyatorning ximiyaviy energiyasini oshiradi. Razryadlanish jarayonida esa akkumlyator biror iste'molchiga ulanadi, bunda ximiyaviy energiya elektr energiyasiga aylanadi.

Manbaning EYuK:



5.1-rasm

Ikkita sharcha turli ishorali zaryadlar bilan bir xil miqdorda zaryadlangan bo'lsin. Ularni bir-biriga tekkizilganda Kulon kuchlari ta'sirida bu sharchalar tezda neytrallashadi. Manfiy zaryadlangan sharchadagi ortiqcha elektronlar Kulon kuchlari bo'yicha va elektr maydon kuch chiziqlariga qarama-qarshi yo'nalishda musbat zaryadli sharchaga tomon harakatlanadi (5.1-a, rasm). Musbat zaryadli sharchaga etib kelgan elektronlar etishmayotgan elektronlarni to'ldirib neytrallashadi. Musbat va manfiy zaryadli Sharchalar sim bilan tutashtirilganda qisqa vaqt davomida simlarda elektr toki paydo bo'ladi. Sharchalar neytrallashganda esa tok o'tishi ham to'xtaydi. Har doim tok oqib turishi uchun har doim sharchalarda musbat va manfiy zaryadlar mavjud bo'lishi kerak. Buning uchun tashqi biror kuch elektronlarni (+) qutbdan sug'urib olib, ularni Kulon kuchlari yo'nalishiga qarama-qarshi va elektr maydon yo'nalishi bo'yicha (-) qutbga ko'chirib ish bajarish kerak (5.1-b, rasm). Shundagina har doim (+) va (-) qutblar orasida potentsiallar mavjud bo'ladi va yopiq sistemada tok beto'xtov aylanadi.

Kulon kuchidan tashqari barcha kuchlar tashqi kuch bo'lishi mumkin. Masalan, galvanik elementlarda ximiyaviy kuchlar Kulon kuchlariga qarshi ish bajaradi. Tashqi kuchlarning zaryadlarga ta'sirini *elektr yurituvchi kuch (EYuK)* deyiladi.

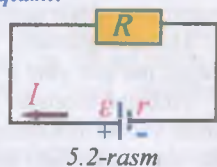
Berk konturdagi EYuK miqdor jihatidan tashqi kuchlarning birlik musbat zaryadni berk kontur bo'ylab ko'chirishda bajargan ishiga tengdir.

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{max}}}{q}$$

Zanjir ochiq bo'lganda manbaning EYuK uning qutblaridagi potentsiallar ayirmasiga teng bo'ladi. Shuning uchun ham EYuK xuddi kuchlanish kabi voltlarda o'lchanadi.

To'liq zanjir uchun Om qonuni. EYuK va ichki qarshilikni aniqlash:

Tok manbaiga biror R rezistor ulab yopiq zanjir hosil qilaylik (5.2-rasm). Tok manbasining EYuK ε va ichki qarshiligi r bo'lsin. Generatorlarda ichki qarshilik r deganda cho'lg'amlarning qarshiligi, galvanik elementlarda esa elektrolit eritmasi va elektrodlar qarshiligi tushuniladi. Yopiq zanjirda tarmoqlanish bo'lmagani uchun berk zanjirda tashqi R va ichki r qarshiliklardan o'tuvchi bitta I tok kuchi mavjud bo'ladi.



5.2-rasm

Om qonunini yopiq zanjir uchun tatbiq qilganda yopiq zanjirdagi tok kuchi I ni EYuK ε va yopiq zanjirning to'la qarshiligi $(R+r)$ bilan bog'laydi. Bunda zanjirning tashqi va ichki qismlaridagi kuchlanish tushuvlari yig'indisi manbaning EYuKni beradi.

$$\varepsilon = U_R + U_r = IR + Ir$$

Yuqoridagi formuladan to'liq zanjirning tashqi va ichki qismidagi kuchlanish tushuvlarini yozishimiz mumkin.

$$U_R = IR, \quad U_r = Ir$$

Yopiq zanjirdagi tok kuchini aniqlashimiz mumkin.

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

Yuqoridagi formula yopiq zanjir uchun Om qonunining matematik ifodasi bo'lib, uni quyidagicha ta'riflash mumkin:

Yopiq zanjirdan o'tayotgan tokning kuchi manbaning EYuKiga to'g'ri proporsional va zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Agar tok manbaining klemmalari sim bilan tutashtirilsa, bunda qisqa tutashuv sodir bo'ladi. Qisqa tutashuvda hosil bo'ladigan tok kuchi eng katta qiymatga ega bo'lib, manbani biror iste'molchiga ulaganda har doim zanjirda qisqa tutashuv tokidan kichik tok hosil bo'ladi.

Qisqa tutashuvdagi tok kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{r}, \quad I < I_0$$

Tok manbaining ichki qarshiligi va EYuKining aniq qiymatini biror o'lchash ishlari orqali topib o'lmaydi. Ularni ixtiyorimizda ikkita turli qarshiliklar, voltmetr va ampermetr bo'lsagina, hisob-kitob orqali topish mumkin bo'ladi (5.3-rasm). Bu yerda ampermetrning qarshiligini manbaning ichki qarshiligidan ham nihoyatda kichik bo'lgani uchun e'tiborga olmaymiz. Manbaga R_1 qarshilik ulanganda $I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1+r}$ tok kuchi, R_2

qarshilik ulanganda esa $I_1 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}$ tok kuchi vujudga keladi. Bularning nisbatidan manbaning ichki qarshiligini topish mumkin.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2 + r}{R_1 + r}, \rightarrow I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r, \rightarrow r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}$$

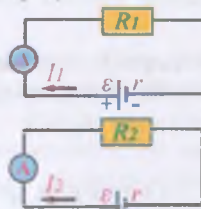
Manbaning EYuKini esa $\varepsilon = I_1(R_1 + r)$ yoki $\varepsilon = I_2(R_2 + r)$ formulalardan ixtiyoriy biridan aniqlash mumkin. Natijada

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r) = I_1 \left(R_1 + \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} \right) = I_1 \frac{I_2 R_1 - I_1 R_1 + I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} = \frac{R_1 - R_2}{I_2 - I_1} I_1 I_2$$

bo'ladi.

Demak, agar manbaga R_1 qarshilik ulaganda I_1 tok kuchi vujudga kelsa, R_2 qarshilik ulaganda esa I_2 tok kuchi vujudga kelsa, manbaning EYuK va ichki qarshiligi quyidagicha bo'ladi (5.3-rasm):

$$\varepsilon = \frac{R_1 - R_2}{I_2 - I_1} I_1 I_2, \quad r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}$$



5.3-rasm

Agar ixtiyorimizda ampermetr va voltmr bo'lsa ham tok manbaining EYUKini va ichki qarshiligini aniqlashimiz mumkin. Bunda ampermetrning qarshiligini manbaning ichki qarshiligidan ham nihoyatda kichik bo'lgani uchun e'tiborga olmaymiz. Voltmetrning ichki qarshiligi esa ulanadigan R_1 va R_2 qarshiliklardan nihoyatda katta bo'lgani uchun voltmr orqali o'tadigan tokni e'tiborga olmaymiz (5.4-rasm). Manbaning EYuK va ichki qarshiligini oldingi formuladan keltirib chiqarish mumkin. Bunda EYuK uchun

$$\varepsilon = \frac{R_1 - R_2}{I_2 - I_1} I_1 I_2 = \frac{R_1 I_1 I_2 - R_2 I_2 I_1}{I_2 - I_1} = \frac{U_1 I_2 - U_2 I_1}{I_2 - I_1}$$

hamda ichki qarshilik uchun

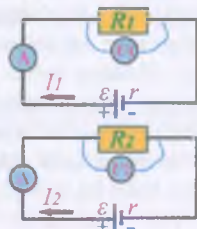
$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}$$

natijalarga ega bo'lamiz. Manbaga ulangan noma'lum qarshiliklarni esa voltmr va ampermetrlarning ko'rsatkichlari nisbatidan aniqlash mumkin, ya'ni $R_1 = \frac{U_1}{I_1}$ va $R_2 = \frac{U_2}{I_2}$

bo'ladi.

Demak, agar manbaga biror qarshilik ulanganda zanjirda I_1 tok kuchi vujudga kelib o'tkazgichdagi kuchlanish tushuvi U_1 bo'lsa, boshqa bir qarshilik ulanganda esa zanjirda I_2 tok kuchi vujudga kelib o'tkazgichdagi kuchlanish tushuvi U_2 bo'lsa, manbaning EYuK, ichki qarshiligi hamda ulangan qarshiliklar quyidagicha bo'lar ekan (5.4-rasm):

$$\varepsilon = \frac{U_1 I_2 - U_2 I_1}{I_2 - I_1}, \quad r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}, \quad R_1 = \frac{U_1}{I_1}, \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2}$$



5.4-rasm

To'liq zanjir uchun Joule-Lens qonuni. Manbaning FIK:

Tashqi kuchlarning zaryadni berk kontur bo'ylab ko'chirishda bajargan ishi to'liq zanjirda ajralgan issiqlik miqdoriga teng bo'lishi haqida gapirgan edik.

$$A_{\text{tash}} = Q_{\text{to'liq}}$$

Chet kuchlar bajargan ishni aniqlaylik. EYuK tashqi kuchlarning bajargan ishi ekanligidan va to'liq zanjir uchun Om qonunidan foydalanamiz.

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{tash}}}{q}, \rightarrow A_{\text{tash}} = \varepsilon q = \varepsilon I \Delta t, \rightarrow A_{\text{tash}} = \varepsilon I \Delta t = I(R+r)I \Delta t = I^2(R+r)\Delta t, \rightarrow$$

$$A_{\text{tash}} = \varepsilon I \Delta t = \varepsilon \frac{\varepsilon}{R+r} \Delta t = \frac{\varepsilon^2}{R+r} \Delta t$$

Demak, to'liq zanjirda bajarilgan ish quyidagicha bo'lar ekan:

$$A_{\text{tash}} = I^2(R+r)\Delta t = \frac{\varepsilon^2}{R+r} \Delta t = I \varepsilon \Delta t$$

Yuqorida topilgan formula to'liq zanjir uchun Joule-Lens qonunining matematik ifodasidir. Joule-Lens qonunini quvvat uchun yozsak, quyidagicha ega bo'lamiz:

$$P_{\text{to'liq}} = I^2(R+r) = \frac{\varepsilon^2}{R+r} = I \varepsilon$$

To'liq zanjirda ajralgan issiqlik miqdori manba ichida ajralgan Q_r issiqlik va manba tashqarisida ajralgan Q_R issiqlik miqdorlari yig'indisiga teng bo'ladi.

$$Q_{\text{to'liq}} = Q_r + Q_R$$

Endi shulardan manba ichida issiqlik ajralgan va manba tashqarisida ajralgan issiqlik miqdorlarini yozamiz.

$$Q_{\text{to'liq}} = A_{\text{tash}} = \varepsilon I \Delta t = I(R+r)I \Delta t = I^2(R+r)\Delta t = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t = Q_R + Q_r$$

Manba ichida va tashqarisida ajralgan issiqlik miqdorlari quyidagicha bo'ladi:

$$Q_r = I^2 r \Delta t, \quad Q_R = I^2 R \Delta t$$

To'liq zanjirda ajralgan quvvat manba ichida ajralgan P_r quvvat va manba tashqarisida ajralgan P_R quvvatlar yig'indisiga teng bo'ladi.

$$P_{\text{to'liq}} = P_r + P_R$$

Manba ichida va tashqarisida ajralgan quvvatlar esa quyidagicha bo'ladi:

$$P_r = I^2 r, \quad P_R = I^2 R$$

Tok manbasidan foydalanishdan maqsad, manba hosil qilgan elektr energiyasidan esa biror iste'molchiga ulab ko'zlangan maqsadga erishishdir. Masalan, akkumulyator batareyasini lampaga ulab yorug'ligidan foydalanamiz yoki elektroplitaga ulab issiqligidan foydalanamiz. Nima bo'ganda ham biz manba tashqarisiga chiqqan energiyadan foydalanamiz, manba ichida ajralgan energiyadan esa foydalanishning iloji yo'q. Shuning uchun, manba tashqarisida ajralgan energiya – bu ko'zda tutilgan, reja qilingan, maqsad qilingan ish bo'lib, uni *foydali ish* deb ataymiz. Manba ichida ajralgan energiya esa – bu rejada bo'lmagan, ko'zda tutilmagan, maqsaddan adashgan ish bo'lib, uni *isrof bo'lgan ish* deb ataymiz. Chunki, rejamiz akkumulyatorning o'zini qizdirish emas, balki bu energiyani tashqariga chiqarib iste'molchiga yetkazib berishdan iboratdir.

Tok manbasida ajralgan jami energiyaning qanday qismi maqsad sari yo'nalayotganini bildiruvchi kattalikka tok manbasining FIK

O'zgarmas tok manbaining FIKini aniqlaylik.

$$\eta = \frac{Q_{\text{foyd}}}{Q_{\text{to'liq}}} \cdot 100\% = \frac{Q_R}{Q_{\text{to'liq}}} \cdot 100\% = \frac{I^2 R \Delta t}{I^2 (R+r) \Delta t} \cdot 100\% = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%; \quad \eta = \frac{Q_{\text{foyd}}}{Q_{\text{to'liq}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{Q_R}{Q_{ic\eta q}} \cdot 100\% = \frac{IU_R \Delta t}{I \varepsilon \Delta t} \cdot 100\% = \frac{U_R}{\varepsilon} \cdot 100\%$$

Demak, o'zgaras tok manbaining FIKi quyidagicha bo'lar ekan.

$$\eta = \frac{Q_R}{Q_{ic\eta q}} \cdot 100\% = \frac{U_R}{\varepsilon} \cdot 100\% = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%$$

Yuqoridagi formuladan ham ko'rinib turibdiki, tashqi qarshilik kattalashib borgan sari FIK ham ortib borara ekan. Cheksiz katta qarshilikka ulanganda FIKning qiymati taxminan $\eta \approx 100\%$ bo'ladi. Masalan, tok manbasini voltmetrga ulaganda, voltmetrning qarshiligi manba ichki qarshiligidan nihoyatda katta bo'lgani uchun voltmetr taxminan $U_R \approx \varepsilon$ ni ko'rsatadi.

O'zgaras tok manbaiga tashqi qarshili ulaganda hosil bo'ladigan jami quvvatning biror qismi manbaning o'zini qizitadi, yana qandaydir qismi tashqariga chiqadi. Tok manbaiga har qanday tashqi qarshilik ulaganda ham tashqariga chiqqan quvvatning qiymati bir xil bo'lavermaydi. Bu tashqariga chiqqan quvvat foydali quvvat bo'lib, mana shu foydali quvvatni mumkin qadar oshirishimiz kerak bo'ladi. Tashqariga chiqqan quvvat maksimal bo'ladigan tashqi qarshilikni va bu maksimal quvvatning qiymatini aniqlaylik.

Manba tashqarisida ajralgan quvvat uchun

$$P_R = I^2 R = \frac{R}{(R+r)^2} \varepsilon^2$$

formuladan foydalanamiz. Bu yerda ε va r kattaliklar o'zgaras sonlardir. Shuning uchun, tashqi quvvat faqat R ga bog'langan bir o'zgaruvchili funksiya ekan. Funksiya o'zining eng katta yoki eng kichik qiymatlariga o'zgaruvchi bo'yicha olingan hosilasi nolga teng bo'lganda erishishini matematikadan yaxshi bilamiz. Demak, tashqi quvvatdan tashqi qarshilik bo'yicha olingan hosilani nolga tenglab maqsadga erishish mumkin ekan.

$$P'_R = \left(\frac{R}{(R+r)^2} \varepsilon^2 \right)' = \varepsilon^2 \frac{1 \cdot (R+r)^2 - 2(R+r) \cdot R}{(R+r)^4} = \varepsilon^2 \frac{R+r-2R}{(R+r)^3} = \varepsilon^2 \frac{r-R}{(R+r)^3} = 0, \rightarrow R=r$$

Demak, $R=r$ da eng katta tashqi quvvatga ega bo'lar ekanmiz. Bunda tashqi quvvatning qiymati

$$P_R(r) = \frac{r}{(r+r)^2} \varepsilon^2 = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

ga teng qiymatga erishar ekan.

Shunday qilib, tashqi qarshilikning tashqi zanjirda eng katta quvvat ajraladigan qiymati va bunda tashqi quvvat nimaga quyidagiga teng bo'lar ekan:

$$R=r \text{ da } P_R = \frac{\varepsilon^2}{4r} \text{ bo'ladi}$$

Yuqoridagi formuladan savol tug'iladi. $R=r$ da tashqi zanjirdagi quvvat o'zining maksimal $P_R = \frac{\varepsilon^2}{4r}$ qiymatiga erishar ekan, u holda $R < r$ da yoki $R > r$ da quvvat qanday bo'ladi? – Bunda quvvatning qiymatlari $\frac{\varepsilon^2}{4r}$ dan ko'ra kichikroq bo'ladi. Quvvatning

$P_R < \frac{\varepsilon^2}{4r}$ bo'lgan har bir qiymatiga qarshilikning $R < r$ va $R > r$ bo'lgan ikkitadan qiymatlari mos keladi. Agar $R_1 < r$ va $R_2 > r$ bo'lgan qarshiliklarning ma'lum

qiymatlarida tashqi zanjirda bir xil quvvatlar ajralishi ma'lum bo'lsa, u holda manbaning ichki qarshiligi r ni aniqlash mumkin.

Manbaga R_1 qarshilik ulagandagi tashqi quvvat

$$P_{R_1} = \frac{R_1}{(R_1 + r)^2} \varepsilon^2$$

ga, R_2 qarshilik ulagandagi tashqi quvvat esa

$$P_{R_2} = \frac{R_2}{(R_2 + r)^2} \varepsilon^2$$

ga teng bo'ladi. Masala shartiga ko'ra $P_{R_1} = P_{R_2}$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\frac{R_1}{(R_1 + r)^2} \varepsilon^2 = \frac{R_2}{(R_2 + r)^2} \varepsilon^2, \rightarrow \frac{R_2 + r}{R_1 + r} = \frac{\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1}}, \rightarrow R_2 \sqrt{R_1} + r \sqrt{R_1} = R_1 \sqrt{R_2} + r \sqrt{R_2}, \rightarrow$$

$$r(\sqrt{R_2} - \sqrt{R_1}) = R_2 \sqrt{R_1} - R_1 \sqrt{R_2}, \rightarrow r(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}) = \sqrt{R_1 R_2}(\sqrt{R_2} - \sqrt{R_1}), \rightarrow r = \sqrt{R_1 R_2}$$

so'ralgan kattalika ega bo'lamiz.

Shunday qilib, agar tok manbasiga R_1 va R_2 qarshiliklar ulaganda bu qarshiliklardagi quvvatlarlar bir xil bo'lsa, manbaning ichki qarshiligi quyidagicha bo'lar ekan:

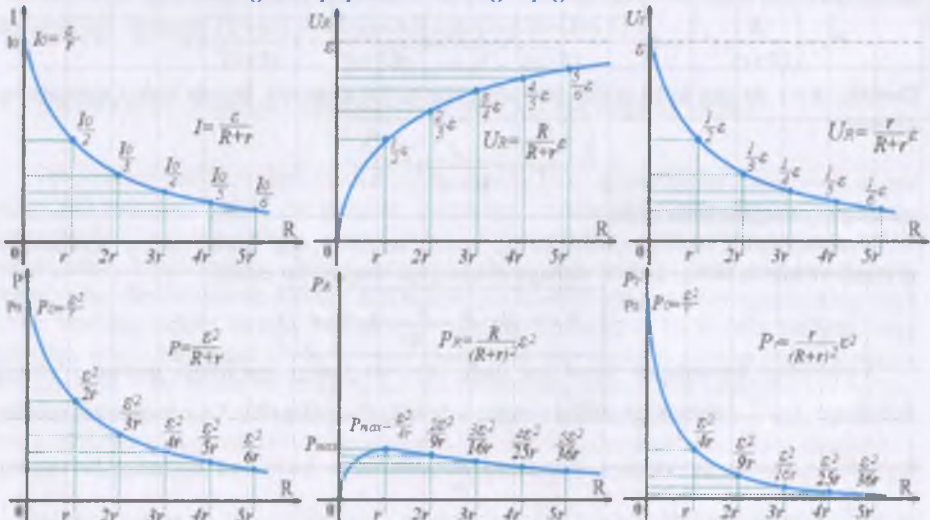
$$r = \sqrt{R_1 R_2}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, tok manbaining ichki qarshiligi R_1 va R_2 qarshiliklarning o'rta arifmetigiga teng bo'lar ekan. Masalan, tashqi qarshiliklarning

$\begin{cases} R_1 = r/2 \\ R_2 = 2r \end{cases}, \begin{cases} R_1 = r/3 \\ R_2 = 3r \end{cases}, \begin{cases} R_1 = r/4 \\ R_2 = 4r \end{cases}, \dots, \begin{cases} R_1 = r/n \\ R_2 = nr \end{cases}$ ga teng bo'lgan qiymatlarida tashqi zanjirda

$\frac{2\varepsilon^2}{9r}, \frac{3\varepsilon^2}{16r}, \frac{4\varepsilon^2}{25r}, \dots, \frac{n\varepsilon^2}{(n+1)^2 r}$ qiymatli bir xil quvvatlar ajralar ekan.

Elektr kattaliklarning tashqi qarshilikka bog'liqligi:



5.5-rasm

Endi biror berilgan tok manbasini o'zgaruvchan tashqi qarshilikka ulaganda tok kuchi, kuchlanish, quvvat kabi kattaliklar qanday o'zgarishini tekshirib ko'raylik.

Bizga EYuK ε va ichki qarshiligi r bo'lgan doimiy tok manbasi berilgan bo'lib, bu manbaga ulash uchun esa ixtiyorimizda $R = r, 2r, 3r, 4r, 5r, \dots, nr$ qarshiliklar bo'lsin. Bu qarshiliklarni navbatma-navbat tok manbasiga ulab so'ralgan kattaliklarning qiymatlarini hisoblab boramiz. Hisob-kitob natijasida esa 5.5-rasmlardagi grafiklarga ega bo'lamiz. Kattaliklarni ifodalaydigan formulalar ham rasmlarning o'zida tasvirlangan.



1. EYuK deb nimaga aytiladi?
2. EYuK, potensial va kuchlanishning o'lchov birligi bir xil. Ularni farqini aytib bering.
3. To'liq zanjir uchun Om qonunining matematik ifodasini yozing? Bu zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan qanday farq qiladi?
4. Ichki qarshiligi va EYuKi noma'lum bo'lgan manbaning EYuKi va ichki qarshiligini aniqlashning qanday usullari bor?
5. Manbaning ichidagi va tashqarisidagi kuchlanish tushuvi ifodalarini yozing.
6. Qisqa tutashuv nima? Qisqa tutashuv tokini yozing.
7. Manbaning ichidagi va tashqarisidagi sarflangan quvvat ifodalarini yozing.
8. Qanday shart bajarilganda tashqi zanjirdagi quvvat maksimal bo'ladi?
9. Manbaning FIKi deb nimaga aytiladi? FIKning formulasini yozing. FIK qachon masimal bo'ladi?



§ 6. DOIMIY TOK MANBALARINI ULASH

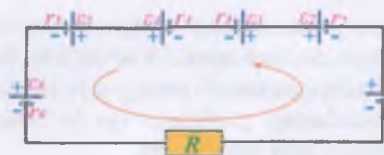
Tok manbalarini ham xuddi o'tkazgichlarni ulagandagi kabi ketma-ket va parallel ulash mumkin. Bunda natijaviy EYuK, tok kuchi va to'la qarshilikni topish masalasi bizni qiziqtiradi.

Tok manbalarini ketma-ket ulash:

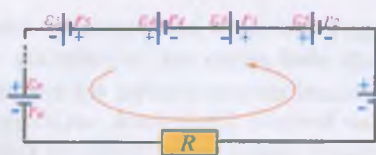
Tok manbalarini birining iziga ikkinchisini, ikkinchisining iziga uchinchisi va hokoza qilib ulashga **ketma-ket ulash** deyiladi. Bashqacha aytganda, manbalarni ketma-ket ulaganda tarmoqlanish bo'lmaydi.

Bir nechta tok manbalari va tashqi qarshilik ketma-ket qilib ulangan bo'lsin. Konturni aylanib chiqishda ixtiyoriy biror bir yo'nalishni musbat yo'nalish deb qa'bul qilamiz. Masalan, soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishni musbat yo'nalish deb qa'bul qilamiz va shu yo'nalishda tokni yuzaga keltiruvchi manbalarning EYuKlarini musbat ($\varepsilon > 0$) deb olamiz, soat strelkasi bo'yicha tokni yuzaga keltiruvchi manbalarning EYuKlarini esa manfiy ($\varepsilon < 0$) deb olamiz. Boshqacha aytganda berk konturni soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda aylanib chiqishda manbaning (-) qutbidan (+) qutbiga o'tilsa, ($\varepsilon > 0$) deb va aksincha ($\varepsilon < 0$) deb olamiz (6.1a-rasm). Bunda natijaviy EYuK, umumiy qarshilik va berk konturdagi tok kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_{um} &= \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4 - \varepsilon_5 + \varepsilon_6 \\ R_{um} &= R + r_{um} = R + r_1 + r_2 + \dots + r_6 = R + \sum_{i=1}^6 r_i \\ I &= \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{aligned} \right.$$



a)



b)

6.1-rasm

Agar ketma-ket ulangan barcha manbalar bir xil ulangan bo'lsa (bir xil yo'nalishda tok yuzaga keltirsa), bu manbalarining natijaviy EYuK ularning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi (6.1b-rasm).

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_{um} &= \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \\ R_{um} &= R + r_{um} = R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = R + \sum_{i=1}^n r_i \\ I &= \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{aligned} \right.$$

Agar n ta bir xil manbalar bir xil tartibda ketma-ket ulangan bo'lsa, natijaviy EYuK quyidagicha bo'ladi:

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_{um} &= \varepsilon + \varepsilon + \varepsilon + \dots + \varepsilon = n\varepsilon \\ R_{um} &= R + r_{um} = R + r + r + r + \dots + r = R + nr \\ I &= \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} = \frac{n\varepsilon}{R + nr} \end{aligned} \right.$$

Agar batareyalar sistemasining qarshiligi tashqi qarshilikdan ancha kichik ($nr \ll R$) bo'lsa, batareyalarni ketma-ket ulash foydalidir, ya'ni bunda maksimal tok kuchi olish mumkin.

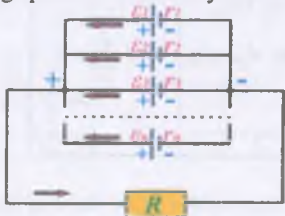
$$I \approx \frac{n\varepsilon}{R}$$

Tashqi qarshilik manbaning ichki qarshiligidan ancha kichik ($R \ll r$) bo'lsa, batareyalarni ketma-ket ulash foydasizdir, ya'ni bunda olinadigan tok kuchi bitta manbaning qisqa tutashuv tokiga teng bo'ladi.

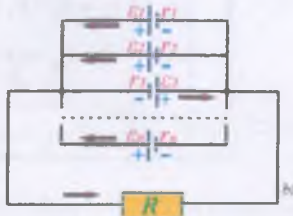
$$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr} \approx \frac{n\varepsilon}{nr} = \frac{\varepsilon}{r} = I_0$$

Tok manbalarini parallel ulash:

Tok manbalarinining (+) qutblari bitta tugunga, (-) qutblari bitta tugunga ulansa, bunday ulashga **parallel ulash** deyiladi.



a)



b)

6.2-rasm

Tok manbalarini parallel ulaganda, batareyalar sistemasining natijaviy EYuK, umumiy qarshilik va tashqi qarshilikdagi tok kuchi quyidagicha bo'ladi (6.2a-rasm):

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} + \frac{\varepsilon_3}{r_3} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{r_n} \\ R_{um} = R + r_{um} \\ \frac{1}{r_{um}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} \\ I = \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{array} \right.$$

Agar tok manbalaridan biirtasining qutblari almashtirib ulansa, o'sha manba uchun $\varepsilon < 0$ deb olinadi (6.2b-rasm):

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} - \frac{\varepsilon_3}{r_3} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{r_n} \\ R_{um} = R + r_{um} \\ \frac{1}{r_{um}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} \\ I = \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{array} \right.$$

Agar n ta bir xil manba parallel ulansa, natijaviy EYuK, umumiy qarshilik va tashqi qarshilikdagi tok kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$\varepsilon_{um} = \varepsilon, \quad R_{um} = R + r_{um} = R + \frac{r}{n}, \quad I = \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{n}} = \frac{n\varepsilon}{nR + r}$$

Agar bir xil manbalar ketma-ket ulansa, yuqoridagi formula qanday ko'rinish olishini ko'raylik. Bunda

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \dots = \varepsilon_n = \varepsilon$$

bo'ladi. Natijaviy EYuK esa

$$\frac{\varepsilon_{um}}{r_{um}} = \frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} + \frac{\varepsilon_3}{r_3} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{r_n} = \frac{\varepsilon}{r_1} + \frac{\varepsilon}{r_2} + \frac{\varepsilon}{r_3} + \dots + \frac{\varepsilon}{r_n} = \varepsilon \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} \right) = \varepsilon \frac{1}{r_{um}}, \rightarrow \varepsilon_{um} = \varepsilon$$

bo'ladi.

Demak, agar n ta parallel ulangan manbaning EYuKlari teng bo'lsa, u holda natijaviy EYuK quyidagicha bo'lar ekan:

$$\varepsilon_{um} = \varepsilon$$

Ichki qarshiliklari bir xil EYuKlari esa har xil bo'lgan manbalarni ko'raylik. Bunda

$$r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_n = r$$

bo'ladi. Shuning uchun, batareyalar sistemasining umumiy ichki qarshiligi

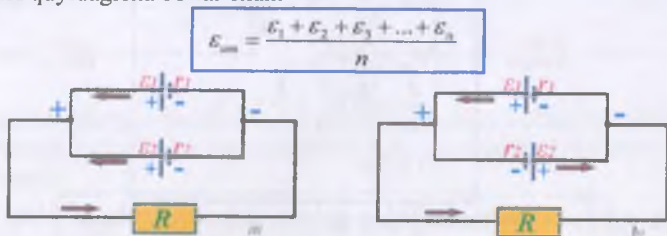
$$r_{um} = \frac{r}{n}$$

bo'ladi. Natijaviy EYuK esa

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_{um}}{r_{um}} &= \frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} + \frac{\varepsilon_3}{r_3} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{r_n} = \frac{\varepsilon_1}{r} + \frac{\varepsilon_2}{r} + \frac{\varepsilon_3}{r} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{r} = \frac{1}{r} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n), \rightarrow \frac{\varepsilon_{um}}{r/n} = \\ &= \frac{1}{r} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n), \rightarrow \varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n}{n} \end{aligned}$$

bo'ladi.

Demak, agar n ta parallel ulangan manbaning ichki qarshiliklari teng bo'lsa, u holda natijaviy EYuK quyidagicha bo'lar ekan:



6.3-rasm

Agar ikkita o'zaro parallel ulangan turli manbalar tashqi manbaga ulansa, natijaviy EYuK quyidagicha bo'ladi (6.3a-rasm):

$$\varepsilon_{\text{um}} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 + r_2}$$

Agar yuqoridagi formulani EYuKlari turlicha, lekin ichki qarshiliklari bir xil bo'lgan manbalar uchun qo'llasak, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\varepsilon_{\text{um}} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$$

Agar ikkita o'zaro teskari parallel ulangan turli manbalar tashqi manbaga ulansa, natijaviy EYuK quyidagicha bo'ladi (6.3b-rasm):

$$\varepsilon_{\text{um}} = \frac{\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1}{r_1 + r_2}$$

Agar yuqoridagi formulani EYuKlari turlicha, lekin ichki qarshiliklari bir xil bo'lgan manbalar uchun qo'llasak, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\varepsilon_{\text{um}} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2}$$

Manbalarni ulash bilan bog'liq bo'lgan masalalarga Kirxgof qonunlarini o'rganishda ko'p duch kelamiz. Unda aralash ulashlarda ham ixtiyoriy manbadan o'tuvchi tok kuchini va undagi kuchlanish tushuvini aniqlash mumkin bo'ladi.



1. Manbalarni ketma-ket ulash deb nimaga aytiladi? Bunda umumiy EYuK qanday bo'ladi?
2. Manbalar ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va umumiy tok kuchi qanday aniqlanadi? Bir xil manbalar uchun qanday bo'ladi?
3. Manbalarni parallel ulash deb nimaga aytiladi? Bunda umumiy EYuK qanday bo'ladi?
4. Manbalar parallel ulanganda umumiy qarshilik va umumiy tok kuchi qanday aniqlanadi? Bir xil manbalar uchun qanday bo'ladi?
5. To'g'ri va teskari parallel ulangan ikkita manbaning natijaviy EYuK qanday bo'ladi? Ichki qarshiliklar bir xil bo'lganda bu formula qanday bo'ladi?



§ 7. KIRXGOF QONUNLARI VA ULARDAN KELIB CHIQUADIGAN NATIJALAR

Agar elektr zanjirlari tarmoqlangan bo'lsa, bu zanjirlarning alohida qismlaridan o'tayotgan tok kuchlari miqdori va yo'nalishlari har xil bo'lgani uchun ularni to'g'ridan-to'g'ri Ohm qonuni bo'yicha hisoblash juda qiyindir. Bunday murakkab vaziyatdan qutulishni birinchi bo'lib 1847-yilda nemis fizigi Kirxgof tomonidan yaratilgan ikkita qonun asosida oson hal etish mumkin.

Kirxgof qonunlari:

Kirxgofning 1-qonuni: *elektr zanjirining tugunida uchrashgan toklarning algebraik yig'indisi nolga teng, ya'ni tugunga kelayotgan toklar yig'indisi tugundan ketuvchi toklar yig'indisiga teng bo'ladi (3.1.15.1-rasm).*

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad \text{yoki} \quad I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

Bu yerda: n – tugunda uchrashgan toklar soni bo'lib, $n \geq 3$ bo'lgandagina tugun hosil bo'ladi.

Kirxgofning 1-qonuni tugunda uchrashuvchi toklarga taalluqli bo'lgani uchun ham bu qonuni **tugunlar qonuni** deb ham ataladi. Kirxgofning 1-qonuni zaryadlar saqlanish qonuning natijasidir.



7.1-rasm

Kirxgofning 2-qonuni: *Tarmoqlangan elektr zanjirining ixtiyoriy berk konturidagi tok manbalarining EYuKlari yig'indisi har doim qarshiliklardagi kuchlanish tushuvlari yig'indisiga teng bo'ladi.*

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n U_i \quad \text{yoki} \quad \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i$$

Bu yerda tok manbalarining ichki qarshiliklaridagi kuchlanish tushuvlari ham hisobga olinishi kerak.

Kirxgofning 2-qonuni tarmoqlangan elektr zanjirining ixtiyoriy berk konturi uchun bo'lib, shuning uchun bu qonunni **konturlar qonuni** deb ham ataladi. Kirxgofning 2-qonuni energiya saqlanish qonuning natijasidir.

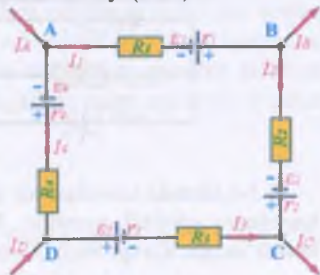
Kirxgofning 2-qonunidan foydalanishda quyidagi shartlarga amal qilish kerak bo'ladi:

1. yo'nalishi tanlangan aylanish yo'nalishi bilan mos tushgan toklarni musbat toklar, teskari yo'nalganlarini esa manfiy toklar deb olinadi;
2. konturni tanlangan yo'nalishda aylanib chiqishda tok manbasining (-) qutbidan (+) qutbga o'tilsa, manbaning EYuK musbat ($\mathcal{E} > 0$) deb, aksincha manfiy ($\mathcal{E} < 0$) deb olinadi.

Masalan, 7.2-rasmda tasvirlangan tarmoqlangan elektr zanjirining ABCDA berk konturi uchun Kirxgofning 1- va 2-qonuni quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} A: I_A - I_1 - I_4 &= 0, & B: I_1 - I_B - I_2 &= 0 \\ C: I_2 + I_3 - I_C &= 0, & D: I_D + I_4 - I_3 &= 0 \\ ABCD: \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_4 &= I_1(R_1 + r_1) + I_2(R_2 + r_2) - \\ &- I_3(R_3 + r_3) - I_4(R_4 + r_4) \end{aligned}$$

Shunday qilib, Kirxgofning ikkita qonunidan foydalanib, har qanday murakkab tarmoqli elektr

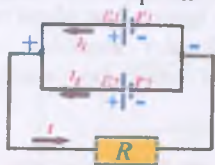


7.2-rasm

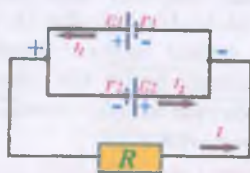
zanjiridagi noma'lum kattaliklarni ham hisoblab topish mumkin ekan.

Kirxgof qonunlaridan kelib chiqadigan natijalar:

Kirxgof qonunlaridan foydalanib ko'p uchraydigan masalalardan ba'zilar uchun xususiy formulalar chiqarishimiz mumkin.



a)



b)

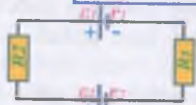
7.3-rasm

O'zaro parallel ulangan ikkita turli manbani tashqi R qarshilikka ulaganda har bir elementdan o'tuvchi tok kuchlari quyidagicha bo'ladi (7.3-a, rasm):

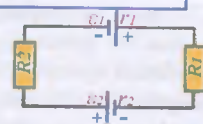
$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 + r_2} \\ R_{um} = R + r_{um} = R + \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \\ I_{um} = \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon_1 - I \cdot R}{r_1} \\ I_2 = \frac{\varepsilon_2 - I \cdot R}{r_2} \\ I_{um} = I_1 + I_2 \end{array} \right.$$

O'zaro teskari parallel ulangan ikkita turli manbani tashqi R qarshilikka ulaganda har bir elementdan o'tuvchi tok kuchlari quyidagicha bo'ladi (7.3-b, rasm):

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1 \cdot r_2 - \varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 + r_2} \\ R_{um} = R + r_{um} = R + \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \\ I_{um} = \frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon_1 - I \cdot R}{r_1} \\ I_2 = \frac{\varepsilon_2 + I \cdot R}{r_2} \\ I_{um} = I_1 - I_2 \end{array} \right.$$



a)

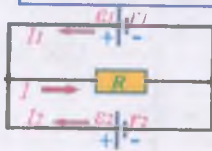


b)

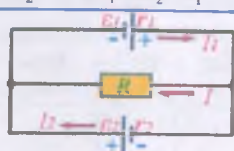
7.4-rasm

7.4-rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgofning 2-qonuni quyidagicha bo'ladi:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I \cdot (R_1 + R_2 + r_1 + r_2), \quad \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I \cdot (R_1 + R_2 + r_1 + r_2)$$



a)



b)

7.5-rasm

7.5-a, rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgofning ikkala qonunidan foydalanib tok kuchlarini aniqlash mumkin. Rasmdagi yuqorigi I-kontur, pastki II-kontur va tashqi kontur uchun Kirxgofning 2-qonunini qo'llab,

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 + I R, \quad \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I_1 r_1 - I_2 r_2$$

formulalarni, Kirxgofning 1-qonunini tugun uchun qo'llab, $I = I_1 + I_2$ formulani hosil qilish mumkin. $I = I_1 + I_2$ formulani I- va II –konturlar uchun chiqarilgan

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 + I R$$

formulalarga qo'yib,

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = I_1 r_1 + (I_1 + I_2) R = I_1 (r_1 + R) + I_2 R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 + (I_1 + I_2) R = I_1 R + I_2 (r_2 + R) \end{cases}$$

sistemaga ega bo'lamiz. Sistemaning 1-tenglamasidan

$$I_2 = \frac{\varepsilon_1 - r_1 + R}{R} I_1$$

ni topib, uni 2-tenglamaga qo'ysak,

$$\varepsilon_2 = I_1 R + I_2 (r_2 + R) = I_1 R + \left(\frac{\varepsilon_1 - r_1 + R}{R} I_1 \right) (r_2 + R)$$

tenglama hosil bo'ladi. Buni ikkala tomonini R ga ko'paytirsak,

$$\varepsilon_2 R = I_1 R^2 + \varepsilon_1 (r_2 + R) - (r_1 + R)(r_2 + R) I_1, \rightarrow \varepsilon_2 R - \varepsilon_1 (r_2 + R) = (R^2 - r_1 r_2 - (r_1 + r_2) R - R^2) I_1, \rightarrow$$

$$(r_1 r_2 + (r_1 + r_2) R) I_1 = \varepsilon_1 (r_2 + R) - \varepsilon_2 R, \rightarrow I_1 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

1-manbadan o'tuvchi tok kuchi kelib chiqadi. 2-manbadan o'tuvchi tok kuchi uchun esa

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{\varepsilon_1}{R} - \frac{r_1 + R}{R} I_1 = \frac{\varepsilon_1}{R} - \frac{r_1 + R}{R} \cdot \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} = \\ &= \frac{\varepsilon_1 r_1 R + \varepsilon_1 r_1 r_2 + \varepsilon_1 r_2 R - \varepsilon_1 r_1 r_2 - \varepsilon_1 r_2 R - \varepsilon_1 R^2 + \varepsilon_2 r_1 R + \varepsilon_2 R^2}{R(r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R)} = \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \end{aligned}$$

ifoda kelib chiqadi. Qarshilikdagi tok kuchi uchun

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} + \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_1 R - \varepsilon_2 R + \varepsilon_2 r_1 + \varepsilon_2 R - \varepsilon_1 R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

kelib chiqadi.

Shunday qilib, 7.5-a,rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kxgoff qonunlarini va tok kuchlari quyidahicha bo'lar ekan:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 + I R \\ \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I_1 r_1 - I_2 r_2 \\ I = I_1 + I_2 \end{cases}$$

yoki

$$\begin{cases} I_1 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I_2 = \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \end{cases}$$

Yuqoridagi formuladan foydalanib manbalarning biridagi tok kuchi (yoki shu manba qutblaridagi kuchlanish) nolga aylanadigan holni aniqlashimiz mumkin. Ikkala manbadan qaysining EyuKi kichik bo'lsa, shu manbadan o'tadigan tok nolga aylanish ehtimoli mavjud. Aytaylik, $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ bo'lsin, I_2 tok kuchi $\varepsilon_2 r_1 = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R$ da nolga aylanadi. Bundan esa tashqi qarshilikning qiymati

$$R = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} r_1$$

bo'lganda $I_2 = 0$ yoki $U_2 = 0$ ekanligi kelib chiqadi. Bunda $I = I_1$ bo'lib, tok 7.5-a,rasmdagi yuqorgi konturda aylanadi.

7.5-b, rasm rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgofning ikkala qonunidan foydalanib tok kuchlarini aniqlash mumkin. Rasmdagi yuqorigi I-kontur, pastki II –kontur va tashqi kontur uchun Kirxgofning 2-qonunini qo'llab,

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 - I R, \quad \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I_1 r_1 + I_2 r_2$$

formulalarni, Kirxgofning I-qonunini tugun uchun qo'llab, $I = I_1 - I_2$ formulani hosil qilish mumkin. $I = I_1 - I_2$ formulani I- va II –konturlar uchun chiqarilgan

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 - I R$$

formulalarga qo'yib,

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = I_1 r_1 + (I_1 - I_2)R = I_1(r_1 + R) - I_2 R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 - (I_1 - I_2)R = -I_1 R + I_2(r_2 + R) \end{cases}$$

sistemaga ega bo'lamiz. Sistemaning 1-tenglamasidan

$$I_2 = \frac{r_1 + R}{R} I_1 - \frac{\varepsilon_1}{R}$$

ni topib, uni 2-tenglamaga qo'ysak,

$$\varepsilon_2 = -I_1 R + I_2(r_2 + R) = -I_1 R + \left(\frac{r_1 + R}{R} I_1 - \frac{\varepsilon_1}{R} \right) (r_2 + R)$$

tenglama hosil bo'ladi. Buni ikkala tomonini R ga ko'paytirsak,

$$\varepsilon_2 R = -I_1 R^2 + (r_1 + R)(r_2 + R)I_1 - \varepsilon_1(r_2 + R), \rightarrow \varepsilon_2 R + \varepsilon_1(r_2 + R) = (-R^2 + r_1 r_2 + (r_1 + r_2)R + R^2)I_1, \rightarrow$$

$$(r_1 r_2 + (r_1 + r_2)R)I_1 = \varepsilon_1(r_2 + R) + \varepsilon_2 R, \rightarrow I_1 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

1-manbadan o'tuvchi tok kuchi kelib chiqadi. 2-manbadan o'tuvchi tok kuchi uchun esa

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{r_1 + R}{R} I_1 - \frac{\varepsilon_1}{R} = \frac{r_1 + R}{R} \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} - \frac{\varepsilon_1}{R} = \\ &= \frac{\varepsilon_1 r_1 r_2 + \varepsilon_1 r_2 R + \varepsilon_1 r_1 R + \varepsilon_1 R^2 + \varepsilon_2 r_1 R + \varepsilon_2 R^2 - \varepsilon_1 r_1 R - \varepsilon_1 r_2 R - \varepsilon_1 r_2 R}{R(r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R)} = \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_1)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \end{aligned}$$

ifoda kelib chiqadi. Qarshilikdagi tok kuchi uchun

$$I = I_1 - I_2 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} - \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_1)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_1 R + \varepsilon_2 R - \varepsilon_2 r_1 - \varepsilon_2 R - \varepsilon_1 R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} = \frac{\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

kelib chiqadi.

Shunday qilib, 7.5-b, rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgoff qonunlarini va tok kuchlari quyidahicha bo'lar ekan:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 - I R \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I_1 r_1 + I_2 r_2 \\ I = I_1 - I_2 \end{cases}$$

yoki

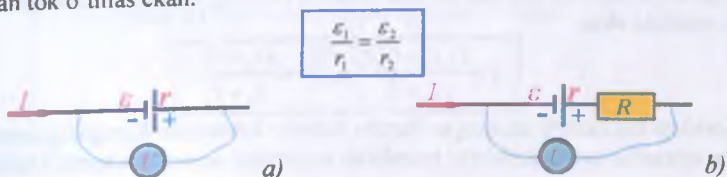
$$\begin{cases} I_1 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I_2 = \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_1)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I = \frac{\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \end{cases}$$

Yuqoridagi formuladan k'rinib turibdiki, manbalardan har doim tok o'tar ekan, $I_1 > 0$, $I_2 > 0$ bo'ladi. Lekin, tashqi R qarshilikdan tok o'tmaslik ehtimoli mavjud. Buning uchun $I = 0$, ya'ni

$$\varepsilon_1 r_2 = \varepsilon_2 r_1, \rightarrow \frac{\varepsilon_1}{r_1} = \frac{\varepsilon_2}{r_2}$$

bo'lish kerakligi kelib chiqadi. Ana shunda $I = 0$ yoki $U_R = 0$ va $I_1 = I_2$ bo'ladi.

Demak, 7.5-b, rasm rasmda tasvirlangan zanjir uchun quyidagi shart bajarilganda R qarshilikdan tok o'tmas ekan.

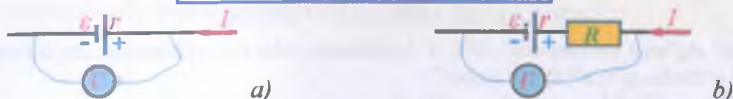


7.6-rasm

Akkumlyator zaryadsizlanayotgan vaqtda uning qutblaridagi kuchlanish manbaning EYuKdan kichik bo'ladi. Chunki, manbaning ichki qarshiligi hisobiga manba ichida kuchlanish tushuvi sodir bo'ladi.

7.6-rasm akkumlyatorning zaryadsizlanish jarayoni bo'lib, bunda voltmetrning ko'rsatishi quyidagicha bo'ladi:

$$U = \varepsilon - Ir, \quad U = \varepsilon - I(R+r)$$



3.1.15.7-rasm

Akkumlyator zaryadlanayotgan vaqtda zaryadlovchi tok yo'nalishi manbaning (+) qutbi tomon yo'nalishi kerak, ya'ni zaryadlovchi manba qutblari akkumlyator manbasi qutblariga mos holda ulanadi. Undan tashqari manbaning qutblaridagi kuchlanish manbaning EYuKdan katta bo'lishi shart. Chunki, manba zaryadlovchi qurilma qutblaridagi potensial manba qutblaridagi potentsialdan katta bo'lgan taqdirdagina, manbaga majburan zaryad kiritish mumkin.

7.7-rasm akkumlyatorning zaryadlanish jarayoni bo'lib, bunda voltmetrning ko'rsatishi quyidagicha bo'ladi:

$$U = \varepsilon + Ir, \quad U = \varepsilon + I(R+r)$$

Agar akkumlyatorni zaryadlash paytida tok kuchi I_z , akkumlyator qutblaridagi kuchlanish U_z va razryadlanish (zaryadsizlanish) paytida toki kuchi I_r , akkumlyator qutblaridagi kuchlanish U_r ma'lum bo'lsa, u holda akkumlyatorning EYuKi va ichki qarshiligini aniqlash mumkin. Zaryadlanish va razryadlanish paytidagi akkumlyator qutblaridagi kuchlanishlar

$$\begin{cases} U_z = \varepsilon + I_z r \\ U_r = \varepsilon - I_r r \end{cases}$$

bo'ladi. Bularni biridan ikkinchisini ayirib,

$$U_z - U_r = I_z r + I_r r, \rightarrow r = \frac{U_z - U_r}{I_z + I_r}$$

Akkumlyatorning ichki qarshiligini topiladi. Topilgan bu qiymatni sistemadagi tenglamalardan ixtiyoriy bittasiga, aytaylik ikkinchisiga qo'yib,

$$\varepsilon = U_r + I_r r = U_r + I_r \frac{U_z - U_r}{I_z + I_r} = \frac{U_r I_z + U_z I_r}{I_z + I_r}$$

Akkumlyatorning EYuKini aniqlanadi.

Shunday qilib, akkumlyatorning zaryadlanish va razryadlanish paytidagi tok kuchi va qutblardagi kuchlanishlar ma'lum bo'lsa, akkumlyatorning EYuK va ichki qarshiligini aniqlash mumkin ekan.

$$\varepsilon = \frac{U_r I_z + U_z I_r}{I_z + I_r}, \quad r = \frac{U_z - U_r}{I_z + I_r}$$

Yuqoridagi biz keltirib chiqargan barcha xususiy formulalar Kirxgof qonunlari natijasi bo'lib, bu qonunlar orqali ixtiyoriy murakkab zanjirdagi noma'lum kattaliklarni aniqlash mumkin.



1. Kirxgofning 1-qonunini aytib bering va formulasini yozing.
2. Kirxgofning 2-qonunini aytib bering va formulasini yozing.
3. Kirxgof qonunlari qaysi saqlanish qonunlari natijasi?
4. Akkumlyator zaryadlanish paytida qutblardagi kuchlanish qanday?
5. Akkumlyator razryadlanish paytida qutblardagi kuchlanish qanday?



I BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. 100 μ F sig'imli kondensator 1000 V kuchlanishgacha 0,1 s davomida zaryadlanadi. Zaryad tokining o'rtacha qiymati necha amper?

- A) 0,01 B) 0,1 C) 1 D) 10

Berilgan:

Yechilishi:

$$C = 100 \mu F$$

Tok kuchi quyidagi orqali topiladi: $I = \frac{q}{t}$.

$$t = 0,1 \text{ s}$$

Bu yerda zaryadni aniqlash uchun sig'im formulasidan aniqlaymiz: $q = CU$

$$U = 10^3 \text{ V}$$

$$I = \frac{q}{t} = \frac{C \cdot U}{t} = \frac{10^3 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 1 \text{ A}$$

$$I = ?$$

Javob: C) 1

2. Zanjirdagi tok kuchi 0,5 A bo'lsa, 9 minutda necha kulon zaryad oqib o'tadi?

- A) 540 B) 270 C) 27 D) 18

Berilgan:

Yechilishi:

$$t = 9 \text{ min}$$

Tok kuchini aniqlash formulasidan foydalanamiz:

$$I = 0,5 \text{ A}$$

$$I = \frac{q}{t} \rightarrow q = I \cdot t$$

$$q = ?$$

$$q = I \cdot t = 540 \cdot \frac{1}{2} = 270 \text{ C}$$

Javob: B)

3. Agar o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi 10 s da 0 dan 5 A gacha chiziqli ortgan bo'lsa, shu vaqt ichida o'tkazgich ko'ndalang kesimidan qancha zaryad oqib o'tgan (C)?

- A) 0,5. B) 2,5. C) 2. D) 25.

Berilgan:

$$t = 10 \text{ s}$$

$$I_1 = 0 \text{ A}$$

$$I_2 = 5 \text{ A}$$

$$q = ?$$

Yechilishi:

Bu masalada tok kuchiasta oshib borganligi uchun zaryad miqdorini aniqlashda tok kuchining o'rtacha qiymatini olamiz:

$$q = \bar{I} \cdot t = \frac{I_1 + I_2}{2} \cdot t = \frac{0 + 5}{2} \cdot 10 = 25 \text{ C}$$

Javob: D) 25.

4. Diametri 2 mm bo'lgan o'tkazgichdagi tok kuchi 2 A bo'lsa, tok zichligi qanday bo'ladi (A/m^2)?

- A) 2 B) 4 C) $10^6/\pi$ D) $2 \cdot 10^6/\pi$

Berilgan:

$$d = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$j = ?$$

Yechilishi:

Tok zichligi formulasi: $j = \frac{I}{S}$.

Bu yerda S o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzi bo'lib uning qiymati quyidagicha topiladi:

$$S = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

Ikki formulani birlashtiramiz va kerakli natijani olamiz:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{4I}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2}{\pi \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi} \text{ A}/\text{m}^2$$

Javob: D) $2 \cdot 10^6/\pi$.

5. Massasi 0,27 kg, ko'ndalang kesim yuzi $2,8 \text{ mm}^2$ bo'lgan aluminium simning qarshiligi necha om? Aluminium zichligi $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$, solishtirma qarshiligi $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

- A) 2,8 B) 0,36 C) 3,6 D) 28

Berilgan:

$$m = 0,27 \text{ kg}$$

$$S = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rho = 2670 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_0 = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$R = ?$$

Yechilishi:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1) \quad V = S \cdot l = \frac{m}{\rho} \quad (2)$$

$$l = \frac{m}{\rho S} \quad (3) \quad 3 \Rightarrow 1 \quad R = \rho_0 \frac{m}{\rho S^2}$$

$$R = 2,8 \cdot 10^{-8} \frac{0,27}{2,7 \cdot 10^3 \cdot 2,8 \cdot 2,8 \cdot 10^{-12}} = 0,36 \Omega$$

Javob: B) 0,36.

6. Ko'ndalang kesimi 1 mm^2 bo'lgan nikelin simdan yasalgan reostatga ulangan ampermetr 2,62 A ni, voltmetr esa 220 V ni ko'rsatadi ($\rho_{\text{Ni}} = 42 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$). Reostat simining uzunligi qanday (m)?

- A) 150 B) 180 C) 200 D) 250 E) 300

Berilgan:

$$S = 1 \text{ mm}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 2,62 \text{ A}$$

$$U = 220 \text{ B}$$

$$\rho_0 = 42 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$l = ?$$

Yechilishi:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1) \quad R = \frac{U}{I} \quad (2) \quad 2 \Rightarrow 1$$

$$\frac{U}{I} = \rho \frac{l}{S} \quad (3) \quad l = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot I}$$

$$l = \frac{220 \cdot 10^{-6}}{42 \cdot 10^{-8} \cdot 2,62} = 200 \text{ m}$$

Javob: C)

7. Qarshiligi $0,04 \Omega$ bo'lgan ampermetrga uzunligi 15 sm va ko'ndalang kesim yuzi 3 mm^2 bo'lgan mis sim parallel ulangan. Ampermetr $0,17 \text{ A}$ tokni ko'rsatadi. Mis simdagi tok kuchini toping (A). Misning solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

A) 2,8 B) 3,2 C) 4 D) 5 E) 8

Berilgan:

$$R = 0,04 \Omega$$

$$I_A = 0,17 \text{ A}$$

$$l = 0,15 \text{ m}$$

$$S = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rho_0 = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$I = ?$$

Yechilishi:

$$I = \frac{US}{\rho l} = \frac{I_A R_A S}{\rho l}$$

$$U = \frac{0,17 \cdot 0,04 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,15} =$$

$$= 8 \text{ A}$$

Javob: E)

8. 20 A o'zgarmas tok o'tayotgan, ko'ndalang kesim yuzi 1 mm^2 bo'lgan mis sim ichidagi elektr maydon kuchlanganligi qanday (V/m)? Misning solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

A) 0,17 B) 0,34 C) 1,7 D) 3,4 E) 17

Berilgan:

$$I = 20 \text{ A}$$

$$S = 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rho_0 = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$E = ?$$

Yechilishi:

$$E = \frac{U}{l} \quad U = El \quad I = \frac{US}{\rho l} =$$

$$= \frac{ES}{\rho} \quad E = \frac{I \rho}{S}$$

$$E = \frac{20 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}}{10^{-6}} = 34 \cdot 10^{-2} = 0,34 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Javob: B)

9. Misning har bir atomiga bittadan erkin elektron to'g'ri kelsa, tok tashuvchi elektronlar konsentratsiyasi qanday (m^{-3})? $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $M = 64 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$, $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

A) $3,01 \cdot 10^{23}$ B) $6,4 \cdot 10^{23}$ C) $4,15 \cdot 10^{28}$ D) $8,3 \cdot 10^{28}$

Berilgan:

$$\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$$

$$M = 64 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, q = 20 \text{ C}$$

$$n = ?$$

Yechilishi:

Mo'kekulalar konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\frac{m}{M} \cdot N_A}{V} = \frac{m \cdot N_A}{M \cdot V} = \frac{\rho \cdot V \cdot N_A}{M \cdot V} = \frac{\rho \cdot N_A}{M}$$

$$n = \frac{\rho \cdot N_A}{M} = \frac{8900 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{64 \cdot 10^3} = 8,3 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

Javob: D) $8,3 \cdot 10^{28}$

10. O'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchining kuchlanishga bog'lanish grafigidan foydalanib, o'tkazgichning qarshiligini hisoblang (Ω).

A) 0,5 B) 1 C) 1,5 D) 2

Berilgan:

$$I = 1,5 \text{ A}$$

$$U = 3 \text{ V}$$

$$R = ?$$

Yechilishi:

Grafikdan foydalanib quyidagi qiymatlarni yozib oldik, bundan:

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{1,5} = 2 \Omega$$

Javob: D) 2.

11. Cho'g'lanma lampaning spiralini yasash uchun uzunligi 40 sm va ko'ndalang kesim yuzi 0,002 mm² bo'lgan volfram sim olingan. Volframning solishtirma qarshiligi $5,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Spiralning qarshiligi qanday (Ω)?

A) 0,11 B) 1,1 C) 5,5 D) 11

Berilgan:

$$L_1 = 40 \text{ sm} = 0,4 \text{ m}$$

$$S = 0,002 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 5,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$R = ?$$

Yechilishi:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

$$R = 5,5 \cdot 10^{-8} \frac{0,4}{2 \cdot 10^{-9}} = 11 \Omega$$

Javob: D) 11.

12. Kesim yuzi 1 mm² bo'lgan po'latdan tayyorlangan, tomonlari 1 m va 2 m bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shaklidagi elektr zanjirining A va V nuqtalari orasidagi to'liq qarshilikni toping (Ω). Po'latning solishtirma qarshiligi $1,2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$.

A) 0,1 B) 0,2 C) 1 D) 2 E) 3

Berilgan:

$$S = 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a = 1 \text{ m}$$

$$b = 2 \text{ m}$$

$$\rho = 1,2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$$

$$R_{AB} = ?$$

Yechilishi:

O'tkazgich qarshiligi hisoblash formulasidan foydalanamiz. AB oraliqdagi ikki qism bir-biriga parallel ulangan.

$$R_1 = \rho \frac{a+2b}{S} \quad R_2 = \rho \frac{a}{S}$$

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = \rho \frac{S}{S} = \frac{1,2 \cdot 10^{-7} \cdot 5}{10^{-6}} = 0,6 \Omega$$

$$R_2 = \rho \frac{1}{S} = \frac{1,2 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{10^{-6}} = 0,12 \Omega$$

$$R_{AB} = \frac{0,6 \cdot 0,12}{0,6 + 0,12} = \frac{0,072}{0,72} = 0,1 \Omega$$

Javob: A)

13. Qarshiliklari teng bo'lgan ikkita termistor o'zgarmas kuchlanish manbaiga ketma-ket ulandi. Termistorlardan birini sovitish natijasida undagi kuchlanishning tushuvi 1,5 marta ortgan bo'lsa, uning (termistorning) qarshiligi necha marta ortgan?

A) 1,5 B) 2 C) 6 D) 4 E) 3

Berilgan:

$$R_1 = R_2 = R$$

$$U_1 = 1,5U_1$$

$$\frac{R'_1}{R_1} = ?$$

Yechilishi:

1) Holda

$$R_{um} = R_1 + R_2 = 2R \quad U_0 = IR_{um} = 2IR$$

$$U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2$$

2) Holda

$$U'_1 = IR'_1 \quad U_2 = IR_2$$

$$U'_1 = 1,5U_1 \Rightarrow IR'_1 = 1,5IR_1 \quad R'_1 = 1,5R$$

Javob: A)

14. 2R va R qarshiliklar zanjirga ketma-ket ulangan. Voltmetr 2R qarshilikka ulanganda, R qarshilikka ulangandagiga nisbatan 1,5 marta katta kuchlanishni ko'rsatadi. Voltmetrning qarshiligi R qarshilikdan necha marta katta? Manbadan o'tuvchi tok o'zgarmas deb hisoblang.

A) 3 B) 2 C) 1,5 D) 4 E) bir xil

Berilgan:

$$R_1 = 2R$$

$$R_2 = R$$

$$U_1 = 1,5U_2$$

$$\frac{R_v}{R} = ?$$

Yechilishi:

$$1) R_{um1} = \frac{2R_v \cdot R}{R_v + 2R} \quad U_1 = IR_{um1}$$

$$2) R_{um2} = \frac{R_v \cdot R}{R_v + R} \quad U_2 = IR_{um2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{IR_{um1}}{IR_{um2}} = \frac{2R_v \cdot R(R_v + R)}{(R_v + 2R)R_v \cdot R} = \frac{2R_v + 2R}{R_v + 2R} = \frac{3}{2}$$

$$4R_v + 4R = 3R_v + 6R \quad 2R = R_v$$

$$\frac{R_v}{R} = 2$$

Javob: 2

15. Sxemadagi qarshiligi 3 Om bo'lgan tarmoqdan o'tayotgan tokning kuchi 2 A. Qarshiligi 2 Om bo'lgan tarmoqdan o'tayotgan tok kuchi qanday (A)?

A) 0,8 B) 1,6 C) 2 D) 3 E) 4

Berilgan:

$$R_1 = 3 \text{ Ом}$$

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

$$R_2 = 2 \text{ Ом}$$

$$I_2 = ?$$

Yechilishi:

параллель уланганда

$$U_1 = U_2 = U \quad I = I_1 + I_2 \quad \frac{1}{R_{um}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$U_1 = I_1 R_1 \quad U_2 = I_2 R_2 \quad U_1 = U_2 \Rightarrow$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow I_2 = \frac{R_1}{R_2} I_1 = \frac{3}{2} \cdot 2 = 3 \text{ A}$$

Javob: D)

16. Shuntning R qarshiligi ampermetrning qarshiligidan 5 marta kichik. Agar ampermetr 100 mA tokni ko'rsatayotgan bo'lsa, magistraldagi tok kuchi I qanday (mA)?

A) 400 B) 500 C) 600 D) 800 E) 200

Berilgan:

$$R = \frac{R_A}{5}$$

$$I_A = 200 \text{ mA}$$

Yechilishi:

$$R_{sh} = R$$

$$R_{sh} = \frac{R_A}{n-1}$$

$$I = I_A + I_{sh}$$

$$I_A R_A = I_{sh} R_{sh}$$

$$I_A R_A = \frac{I_{sh} R_{sh}}{5}$$

$$I_{sh} = 5I_A \quad I = I_A + 5I_A = 6I_A$$

$$I = 6 \cdot 100 = 600 \text{ mA}$$

I-?

Javob: C)

17. Ikkita bir xil shuntlardan biri ampermetrga ulansa, uning bo'lim qiymati 2 marta ortadi. Agar ikkala shunt ampermetrga parallel ulansa, uning bo'lim qiymati necha marta ortadi?

A) 3 B) 4 C) 5 D) 2,5 E) 1,5

Berilgan:

$$I_{sh} = I_A$$

$$I_n = 2I_A$$

$$n=2$$

$$n=?$$

Yechilishi:

$$\frac{I}{I_A} = n \cdot I = I_A + I_{sh} + I_{sh} = 3I_{sh}$$

$$n = \frac{I}{I_A} = 3$$

Javob: A) 3

18. Sxemada $R_1 = 800 \text{ Om}$, $R_2 = 1000 \text{ Om}$ va shu zanjirning umumiy qarshiligi 480 Om bo'lsa, voltmetrning o'lchash R chegarasi necha marta oshinlgan?

A) 2 B) 3 C) 4 D) 5 E) 6

Berilgan:

$$R_1 = 800 \text{ Om}$$

$$R_2 = 1000 \text{ Om}$$

$$R_{um} = 1000 \text{ Om}$$

$$\frac{U}{U_V} = ?$$

Yechilishi:

$$I = \frac{U_V}{R_V}$$

$$I = \frac{U_V + U_{sh}}{R_V + R_{sh}}$$

$$\frac{U}{U_V} = \frac{R_V + R_{sh}}{R_V}$$

$$U = U_2 + U_U$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_U} = \frac{U_2}{U_U} + 1$$

$$\frac{U}{U_V} = \frac{R_2}{R_U} + 1$$

$$R_V = 200 \Omega$$

$$\frac{U}{U_V} = \frac{1000}{200} + 1 = 6$$

Javob: E)

19. Qarshiliklari 150 Om va 90 Om bo'lgan rezistorlar tok manbaiga ketma-ket ulangan. Ikkinchi rezistorda 18 kJ issiqlik ajralganda, birinchi rezistorda necha kJ issiqlik ajraladi?

A) 10 B) 20 C) 30 D) 90 E) 150

Berilgan:

$$R_1 = 150 \text{ Om}$$

$$R_2 = 90 \text{ Om}$$

$$Q_2 = 18000 \text{ J}$$

$$Q_1 = ?$$

Yechilishi:

Joul-Leyns qonuniga ko'ra Zanjirdan ajraluvchi issiqlik miqdori

$$Q_1 = I^2 R_1 t \text{ va } Q_2 = I^2 R_2 t$$

Bunda har bir o'tkazgichdagi tok kuchi bir xil ekanligini etiborga olsak va ifodalarni umumlashtirib

$$Q_1 = \frac{Q_2 R_1}{R_2} = 30 \text{ kJ} \quad (C)$$

Javob: C)

20. Ichki qarshiligi 2800 Om bo'lgan voltmetr elektr tarmog'iga ulanganda, 220 V kuchlanishni ko'rsatdi. Voltmetrga necha Om qarshilik ketma-ket ulansa, u 112 V ni ko'rsatadi?

A) 2700 B) 1700 C) 2100 D) 2240 E) 1120

Berilgan:

$$R_V = 2800 \Omega$$

$$U_V = 112 \text{ V}$$

$$U = 220 \text{ V}$$

$$R_{sh} = ?$$

Yechilishi:

$$U = U_V + U_{sh}$$

$$I = \frac{U_{sh}}{R_{sh}} = \frac{U - U_V}{R_{sh}} \quad R_{sh} = \frac{108}{112} \cdot 2800 = 2700 \Omega$$

$$R_{sh} = \frac{(U - U_V) R_V}{U_V}$$

Javob: A)

21. Zanjirning kuchlanish 200 V bo'lgan qismida tok 16 kJ ish bajarganda, bu qismdan nechta elektron oqib o'tgan bo'ladi?

- A) $8 \cdot 10^{18}$ B) $5 \cdot 10^{19}$ C) $6,02 \cdot 10^{23}$ D) $5 \cdot 10^{20}$ E) $1,6 \cdot 10^{19}$

Berilgan:

$$A = 16000 \text{ J}$$

$$U = 200 \text{ V}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ KJ}$$

$$n = ?$$

Yechilishi:

Elektr tokining bajargan ishi ifodasidan

$A = IUt$ ekanligini bilamiz. Tok kuchi ifodasi $I = \frac{q}{t} = \frac{en}{t}$ ekanligini etiborga olsak $A = \frac{en}{t} Ut = enU$ bundan $n = \frac{A}{eU} = 5 \cdot 10^{20} \text{ ta}$

Javob: D)

22. EYuKi 2,5 V bo'lgan elementdan lampochka yonganda, zanjirdagi tok kuchi 0,2 A ga teng bo'ldi. 2 minut ichida elementda chet kuchlar bajargan ishini toping (J).

- A) 40 B) 50 C) 60 D) 70 E) 80

Berilgan:

$$\varepsilon = 2,5 \text{ B}$$

$$I = 0,2 \text{ A}$$

$$t = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$$

$$A = ?$$

Yechilishi:

$$\varepsilon = \frac{A}{q} \quad I = \frac{q}{t} \quad q = It$$

$$\varepsilon = \frac{A}{It} \quad A = \varepsilon It$$

$$A = 2,5 \cdot 0,2 \cdot 120 = 60 \text{ J}$$

Javob: A = 60 J

23. EYuK 5 V va ichki qarshiligi 0,2 Om bo'lgan manba qarshiligi 4,8 Om bo'lgan o'tkazgichga ulandi. O'tkazgichdagi kuchlanishning tushuvi qanday (V)?

- A) 10 B) 1 C) 2,8 D) 4,8 E) 5

Berilgan:

$$R = 4,8 \text{ Om}$$

$$r = 0,2 \text{ Om}$$

$$\varepsilon = 5 \text{ B}$$

$$U = ?$$

Yechilishi:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R} \rightarrow \frac{U}{R} = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow U = \frac{R \cdot \varepsilon}{R + r} = \frac{4,8 \cdot 5}{5} = 4,8$$

Javob: D)



I BOBGA DOIR TESTLAR

1. 8,9 kg massali ko'ndalang kesim yuzi 1 mm^2 bo'lgan mis simning qarshiligi necha Ω bo'ladi? Misning zichligi $8,9 \text{ g/cm}^3$, solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

- A) 8,9 B) 17 C) 34 D) 44,5

2. Har bir metrining massasi 78 kg bo'lgan po'lat relsning necha metri $0,012 \Omega$ qarshilikka ega bo'ladi? Po'latning zichligi $7,8 \text{ g/cm}^3$, solishtirma qarshiligi $1,2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$.

- A) 1200 B) 1000 C) 100 D) 780 E) 10

3. Agar o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi 10 s da 0 dan 5 A gacha chiziqli ortgan bo'lsa, shu vaqt ichida o'tkazgich ko'ndalang kesimidan qancha zaryad oqib o'tgan (C)?

- A) 0,5 B) 2,5 C) 2 D) 25

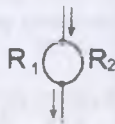
4. Kesim yuzi 1 mm^2 bo'lgan po'latdan tayyorlangan, tomonlari 1 m va 2 m bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shaklidagi elektr zanjirning A va B nuqtalari orasidagi to'liq qarshilikni toping (Om). Po'latning solishtirma qarshiligi $1,2 \cdot 10^{-7} \text{ Om} \cdot \text{m}$.

- A) 0,1 B) 0,2 C) 1 D) 2 E) 3

5. Ichki qarshiligi 880 Om bo'lgan galvanometrning sezgirligini 11 marta kamaytirish uchun shuntning qarshiligi qanday bo'lishi kerak (Om)?
A) 80 B) 88 C) 440 D) 1760 E) 9680
6. Simni cho'zib, uch marta uzaytirilsa, qarshiligi necha marta ortadi?
A) 9 B) 4 C) 2 D) 3
7. Massalari teng bo'lgan bir xil metallardan ikkita sim tayyorlandi. Ulardan biri ikkinchisidan 3 marta uzun. Bu simlarning qarshiliklari R_1 va R_2 orasidagi munosabatni aniqlang.
A) $R_1=3R_2$ B) $R_2=9R_1$ C) $R_1=R_2$ D) $R_2=3R_1$
8. Uzunligi 1 km bo'lgan mis simning qarshiligi 75,65 Ω . Simning og'irligi necha nyuton? Misning zichligi $8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.
A) 225 B) 45 C) 83 D) 118 E) 20
9. Rux va nikelindan qilingan simlar bir xil massaga va qarshilikka ega. Qaysi sim uzunroq va necha marta uzun? Ruxning zichligi $7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, solishtirma qarshiligi $6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, nikelinning zichligi $8,41 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, solishtirma qarshiligi $42 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.
A) uzunliklari bir xil. B) rux sim 8,41 marta uzun.
C) rux sim 2,9 marta uzun. D) nikelin sim 2,9 marta uzun.
E) nikelin sim 8,41 marta uzun
10. Elektr spiraldan 6 A tok o'tmoqda. Agar spiralning chorak qismi kesib tashlansa, undan necha amper tok o'tadi?
A) 12 B) 10 C) 4,5 D) 8 E) 18
11. Ko'ndalang kesimi 150 mm^2 , solishtirma qarshiligi $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ bo'lgan 150 km uzunlikdagi simdan o'zgarmas elektr toki uzatish liniyasi tortilgan. Agar tok kuchi 100 A bo'lsa, liniyaagi kuchlanish tushuvi necha volt bo'ladi?
A) 280 B) 5600 C) 2800 D) 560 E) 1400
12. Alumiiniy o'tkazgichdan o'tayotgan tok zichligi $2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ bo'lsa, o'tkazgich ichidagi maydon kuchlanganligi necha V/m bo'ladi? Alumiiniyning solishtirma qarshiligi $2 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.
A) 10^{-2} B) $4 \cdot 10^{-1}$ C) 0 D) $4 \cdot 10^{-4}$ E) $4 \cdot 10^{-2}$
13. Qarshiliklari teng bo'lgan ikkita termistor o'zgarmas kuchlanish manbaiga ketma-ket ulandi. Termistorlardan biri qizdirilganda, zanjirdagi tok kuchi 1,5 marta ortgan bo'lsa, uning qarshiligi necha marta kamaygan?
A) 3 B) 2 C) 1,5 D) 4,5 E) 6
14. 6,3 V kuchlanishga mo'ljallangan lampachalardan nechtasini ketma-ket ulab, 220 V kuchlanishli tarmoqqa ulash mumkin?
A) 8 B) 17 C) 24 D) 25 E) 35
15. Ketma-ket ulangan R va 2R qarshiliklardan o'zgarmas tok o'tmoqaa. Voltmetr 2R qarshilikka ulanganda, R qarshilikka ulangandagiga nisbatan 1,8 marta ko'p kuchlanishni ko'rsatdi. Voltmetrning qarshiligi R qarshilikdan necha marta katta?
A) 1,8 B) 8 C) 3,6 D) 16 E) 5,4
16. Simdan yasalgan ABCD rombning (rasmga q.) A va S nuqtalari orasidagi qarshilikni toping. Rombning A tomonlari va AC diagonalining qarshiliklari bir xil bo'lib R ga teng.

A) 5R/11 B) R/2 C) 9R/2 D) 11R/5 E) 9R

17. Solishtirma qarshiligi ρ va ko'ndalang kesim yuzi S bo'lgan bir jinsli simdan radiusi r bo'lgan halqa yasalgan va u diametral qarama-qarshi ikki nuqtasidan zanjirga ulangan. Shu nuqtalar orasidagi qarshilikni aniqlang.



- A) $R = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi r}{S}$ B) $R = 2\rho \frac{\pi r}{S}$ C) $R = \rho \frac{\pi r}{S}$
 D) $R = 2\rho \frac{2\pi r}{S}$ E) $R = \frac{1}{4} \rho \frac{\pi r}{S}$

18. Qarshiligi R bo'lgan sim to'rtta teng qismga qirildi va to'rttala qism uzunligi bo'yicha birga eshib qo'yildi. Bunday simning qarshiligi qanday bo'ladi?

- A) R/32 B) R/12 C) R/16 D) R/4 E) R/2

19. Ichki qarshiligi 880 Om bo'lgan galvanometning sezgirlikini 11 marta kamaytirish uchun shuntning qarshiligi qanday bo'lishi kerak (Om)?

- A) 80 B) 88 C) 440 D) 1760 E) 9680

20. Voltmetrning ichki qarshiligi 2 kOm bo'lib, u 10 V ni o'lchashga mo'ljallangan. Ushbu voltmetrga qanday qo'shimcha qarshilik (kOm) ulanganda, u bilan 100 V kuchlanishni o'lchash mumkin bo'ladi?

- A) 0,2 B) 5 C) 12 D) 18 E) 20

21. 20 V kuchlanish o'lchashga mo'ljallangan voltmetr bilan 160 V kuchlanishni o'lchash uchun unga qanday qarshilik ulash kerak (Om)? Voltmetrning ichki qarshiligi 400 Om ga teng.

- A) 2400 B) 2500 C) 2600 D) 2700 E) 2800

22. R va $2R$ qarshiliklar o'zgarmas kuchlanish manbaiga parallel ulangan. R qarshilikda 100 J issiqlik miqdori ajralganda, $2R$ qarshilikda qancha issiqlik miqdori ajraladi (J)?

- A) 400 B) 200 C) 100 D) 50 E) 25

23. Tok kuchi necha amper bo'lganda zanjirning qarshiligi 2 Om bo'lgan qismida 3 s da 54 J issiqlik ajraladi?

- A) 18 B) 9 C) 3 D) 6 E) TJY

24. Uchlaridagi kuchlanish 3 V bo'lgan qo'zg'almas o'tkazgichdan 12 Kl zaryad o'tganda necha joule issiqlik ajralib chiqadi?

- A) 0,25 B) 2 C) 4 D) 36 E) 108

25. Xona ketma-ket ulangan 5 ta lampa bilan yoritilgan bo'lsin. Agar lampalar bittaga kamaytirilsa, elektr energiya sarfi qanday o'zgaradi?

- A) o'zgarmaydi B) kamayadi C) ortadi
 D) ortishi ham mumkin, kamayishi ham E) TJY

26. Qarshiliklari 150 Om va 90 Om bo'lgan rezistorlar tok manbaiga ketma-ket ulangan. Ikkinchi rezistorda 18 kJ issiqlik ajralganda, birinchi rezistorda necha kJ issiqlik ajraladi?

- A) 10 B) 20 C) 30 D) 90 E) 150

27. Elektr choynak ikkita isitish elementiga ega. Agar tarmoqqa birinchi elementning o'zi ulansa, suv 1 soatda qaynaydi. Ikkinchisi ulansa, suv 0,5 soatda qaynaydi. Har ikki element bir vaqtda (parallel) ulansa, suv necha minutda qaynaydi?

- A) 15 B) 20 C) 25 D) 30 E) 28

28. Elektr zanjir qarshiligi 2 Om bo'lgan rezistor va EYuKi 6 V, ichki qarshiligi 1 Om bo'lgan tok manbaidan iborat. Zanjirdagi tok kuchi necha amperga teng?
A) 18 B) 6 C) 3 D) 2 E) 1
29. EYuK 3 V va ichki qarshiligi 0,6 Om bo'lgan batareyaning qisqichlarini qarshiligi juda kichik bo'lgan metall o'tkazgich bilan tutashtirsak, undagi tok kuchi qanday (A) bo'ladi?
A) 5 B) 1,8 C) 0,6 D) 0,3 E) 0,2
30. Tok manbaining EYUKi 9 V, ichki qarshiligi 0,5 Om. Shu manbaga ulangan, qarshiligi 4 Om bo'lgan rezistordagi kuchlanishning tushishi qanday
A) 1 B) 4,5 C) 9 D) 8,5 E) 8
31. Tok manbaiga ulangan reostatning qarshiligi manbaning ichki qarshiligiga teng. Reostat qarshiligi necha marta kamayganda, undagi kuchlanish 2,5 marta kamayadi?
A) 4 B) 3 C) 2,5 D) 2 E) 1,5



1 V BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Diodda anod kuchlanishi 200 V ga teng. Anodga nechta elektron yetib borganda, elektr maydon 1,6 J ish bajaradi? $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$.
2. Elektr maydonda elektronning tezligi $1 \cdot 10^7$ dan $5 \cdot 10^7$ m/s gacha oshdi. Boshlang'ich va oxirgi nuqtalar orasidagi potentsialla ayirmasi qanday (kV)? Elektron zaryadining massasiga nisbati $1,76 \cdot 10^{11} C/kg$.
3. Elektron, elektr maydonidagi ikki nuqta orasida ko'chganda, $v = 3 \cdot 10^7$ m/s tezlikka ega bo'ldi. Bu ikki nuqta orasidagi potentsiallar farqi qanday (V)? elektron zaryadi $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$, massasi $m = 9,1 \cdot 10^{-31} kg$. Elektronning dastlabki tezligi nolga teng.
4. Mis simdan o'tayotgan tokning zichligi 1 A/mm² ga teng. Simdagi elektr maydon kuchlanganligi qanday (V/m)? Misning solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$.
5. Rux sulfat solingan elektrolitik vannada tok kuchi chiziqli $I = (2 + 0,02t)$ A qonun bo'yicha o'zgaradi. elektrolit orqali 5 min ichida o'tgan elektr zaryadni aniqlang (C).
6. Avtomobil elektrodvigatel-starteri akkumulatorlar batareyasidan 180 A tokda 5 s ishladi. Avtomobil yurgandan keyin, generator akkumulatorni 5 A tok bilan zaryadlay boshladi. Necha minutdan so'ng batareyaning ilgarigi holati tiklanadi?
7. O'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi 1,6 μA bo'lganda, o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzidan 1 ns da nechta elektron oqib o'tadi? elektron zaryadi $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$.
8. Qarshiliklari teng bo'lgan ikkita termistor o'zgarmas kuchlanish manbaiga ketma-ket ulandi. Termistorlardan biri qizdirilganda, zanjirdagi tok kuchi 1,5 marta ortgan bo'lsa, uning qarshiligi necha marta kamaygan?
9. Qarshiligi R bo'lgan sim to'rtta teng qismga qirildi va to'rttala qism uzunligi bo'yicha birga eshib qo'yildi. Bunday simning qarshiligi qanday bo'ladi?
10. O'zgarmas kuchlanish manbaiga ulangan R qarshilikli o'tkazgichga 2R qarshilikli o'tkazgich parallel ulansa, R o'tkazgichdagi tok kuchi necha marta kamayadi?
11. Ampermetrning ichki qarshiligi 9,9 Om bo'lib, u 0,1 A gacha tokni o'lchashga mo'ljallangan. Shu ampermetr bilan 10 A gacha tokni o'lchash uchun unga necha omli shunt ulash kerak?

12. Ikkita bir xil shuntlardan biri ampermetrga ulansa, uning bo'lim qiymati 2 marta ortadi. Agar ikkala shunt ampermetrga parallel ulansa, uning bo'lim qiymati necha marta ortadi? J: 3marta
13. Voltmetrning ichki qarshiligi 2 kOm bo'lib, u 10 V ni o'lchashga mo'ljallangan. Ushbu voltmetrga qanday qo'shimcha qarshilik (kOm) ulanganda, u bilan 100 V kuchlanishni o'lchash mumkin bo'ladi?
14. elektr choynak ikkita isitish elementiga ega. Agar tarmoqqa birinchi elementning o'zi ulansa, suv 1 soatda qaynaydi. Ikkinchisi ulansa, suv 0,5 soatda qaynaydi. Har ikki element bir vaqtda (parallel) ulansa, suv necha minutda qaynaydi?
15. Akkumulatorga ulangan reostat qarshiligi akkumulatorning ichki qarshiligiga teng. Agar reostat qarshiligi 2 marta kamaysa, undagi kuchlanish necha marta kamayadi?
16. Qarshiligi 330 Om bo'lgan isitkichdan o'tayotgan tokning kuchi necha amper bo'lganda 0°C temperaturali 1 g muz 1 s da erib ketadi? Muzning solishtirma erish issiqligi $3,3 \cdot 10^3$ J/kg.
17. Galvanik elementga voltmetr ulanganda u 1,2V ni ko'rsatdi, elementni qarshiligi 2 Om bo'lgan sim bilan tutashirilgach esa votmetr 1V ni ko'ratdi. Elementning ichki qarshiligini toping.
18. EYuKi 12 V bo'lgan batareyaga 2 Om qarshilik ulanganda zanjirdagi tok 5A bo'lsa, batareyaning qisqa tutashuv tokini aniqlang.
19. Batareya qutblaridagi potentsiallar farqi 110 V bo'lganda 5A tok kuchi hosil qilish uchun EYuKi 2V dan va ichki qarshiligi 0,2 Om dan bo'lgan akkumulyatorlarning nechtasini ketma-ket ulash kerak?
20. EYuK lari 1,9V va 1,1V, ichki qarshiliklari 0,8 Om va 0,1 Om bo'lgan ikkita element o'zaro parallel ulanib, 10 Om tashqi qarshilikka ulangan. Zanjirning tashqi qismidagi tok kuchini aniqlang.
21. Qarshiligi 0,16 Om bo'lgan ampermetrga qarshiligi 0,04 Om bo'lgan shunt ulangan. Ampermetr 8A ni ko'rsatadi. O'tkazgichdagi tok kuchini aniqlang.
22. Qarshiligi 0,4 Om bo'lgan ampermetr 5A tok kuchinni o'lchashga mo'ljallangan. Shu ampermetr bilan 100 A tok kuchini o'lchash uchun unga qanday shunt ulash kerak?
23. Qarshiligi 200 Om bo'lgan voltmetr shkalasining bo'limi qiymati 20 marta ortishi uchun unga qanday qo'shimcha qarshilik ulash kerak?
24. Quvvatlari 60Vt va 90 Vt bo'lgan ikkita elektr lampasi 127 V kuchlanishga mo'ljallangan. Ularining qaysining qarshiligi katta va necha marta katta?
25. Massasi 900 kg bo'lgan lift o'rtacha 0,44 m/s tezlik bilan ko'tariladi. Motor qisqichlaridagi kuchlanish 220 V ga teng, uning FIK 90%. Motor sarflayotgan quvvat va tok kuchini aniqlang.
26. Quvvati 600 Vt bo'lgan elektr isitkich 120 V kuchlanishga mo'ljallangan. Isitkich yasalgan nikelin simning ko'ndalang kesimi yuzasi $0,2 \text{ mm}^2$ bo'lsa, bunday simdan qanday uzunlik olish kerak? Nikelin uchun solishtirma qarshilik $4 \cdot 10^{-7} \text{ Om} \cdot \text{m}$.
27. EYuK 12 V bo'lgan batareyaning qisqa tutashuv toki 5A bo'lsa, batareya zanjirida ajraluvchi eng katta quvvatni aniqlang.



II BOB. TURLI MUHITLARDAGI ELEKTR TOKI

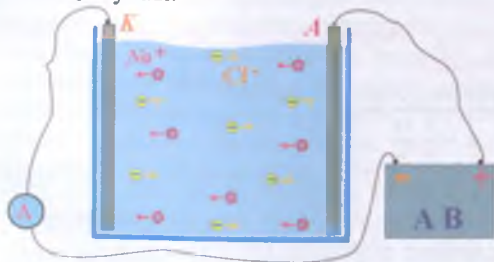
Odingi bobda faqat metallarda elektr toki bilan tanishdik. Metallarda zaryad tashuvchilar faqat erkin elektronlar ekanini bilib oldik. Ushbu bobda esa metall bo'lmagan muhitlarda yoki umuman muhitsuiz vakuuimda elektr toki nima hisobiga paydo bo'lishi bilan tanishamiz. Jumladan, suyuqlikda elektr toki, yarimo'tkazgichlarda elektr toki, gazlarda elektr toki va vakuuimda elektr toki mavzulari bilan tanishamiz. Undan tashqari yarimo'tkazgichlar va ularning turli xossalari bilan ham tanishamiz.



§ 8. SUYUQLIKLARDA ELEKTR TOKI. ELEKTROLIZ UCHUN FARADEY QONUNLARI.

Elektroliz:

Musbat va ionlardan tashkil topgan suyuqlikka *elektrolit* deyiladi. Boshqacha aytganda ionli o'tkazuvchanlik ega bo'lgan eritmalarga *elektrolitlar* deyiladi. Manbaning (+) qutbiga ulangan elektrodni *anod (A)* deb, (-) qutbiga ulangan elektrodni esa *katod (K)* deb ataladi. Eritmadan tok o'tganda eruvchi (tuz, ishqor, kislota vab .) molekulalarining musbat va manfiy ionlarga ajralish jarayoniga *elektrolitik dissotsatsiyanish* deyiladi. Elektrolitik dissotsatsiyanishga teskari jarayon (musbat va manfiy ionlarning qo'shilib neytral molekulaga aylanishi) *rekombinatsiyanish* deyiladi. Anodga tomon harakatlanuvchi ionlarni *anionlar* deyiladi. Anionlar manfiy zaryadlangan ionlardir. Katodga tomon harakatlanuvchi ionlarni *kationlar* deyiladi. Kationlar musbat zaryadlangan ionlardir. Suyuqliklarda elektr toki teng miqdordagi musbat va manfiy ionlarning qarama-qarshi tomonga qiladigan tartibli harakatidan iborat. Masalan, mis sulfat ($CuSO_4$) suvda eritilganda musbat (Cu^{+}) va manfiy (SO_4^{-}) ionlarga ajraladi, ya'ni elektrolitik dissotsatsiyanish sodir bo'ladi. Eritmani tok manbaiga ulanganda Cu^{+} ionlari manfiy qutbga ulangan plastina (katod)ga tomon harakatlanib unga yopishadi, SO_4^{-} ionlari esa manfiy qutbga ulangan plastina (anod)ga tomon harakatlanadi. Plastinalarni *elektrodlar* deyiladi. Elektrolitdan tok o'tganda elektrodlarda modda ajralish hodisasiga *elektroliz* deyiladi.



8.1-rasm

Osh tuzi ($NaCl$) kristalini ampermetr orqali tokka ulanganda ampermetr nolni ko'rsatadi. Toza distillangan suvga plastina tushirib ampermetr orqali tokka ulanganda ham ampermetr nolni ko'rsatadi. Endi osh tuzi kristalini suvga eritsak, ampermetr tok o'tayotganligini ko'rsatadi. Bunda osh tuzi molekulasini elektr maydoni ta'sirida Na^{+} va Cl^{-} ionlariga ajraladi, ya'ni elektrolitik dissotsatsiyanish hodisasi ro'y beradi. Na^{+} ionlari kation sifatida katodga tomon harakatlanadi. Katodga yetib borgach katoddan

etishmayotgan bitta elektronni o'ziga qa'bul qilib neytral Na atomiga aylanadi. Cl^- ioni anion sifatida anodga tomon harakatlanadi. Anodga yetib borgach anodga o'zidagi ortiqcha bitta elektronni berib neytral Cl atomiga aylanadi va shu zahoti ikkita neytral Cl atomlari birikib Cl_2 molekulasini hosil qiladi. Bu molekula esa gaz bo'lib uchib chiqib ketadi (8.1-rasm).

Faradeyning elektroliz qonunlari:

1833 yilda ingliz fizigi M.Faradey tajribalar natijasiga asosan elektrolizning ikkita qonunini kashf qildi. Bu qonunlar keyinchalik uning nomi bilan Faradey qonunlari deb atala boshlandi.

Faradeyning 1-qouni: Elektroliz vaqtida elektrodlarda ajralgan moddaning massasi elektrolit orqali o'tayotgan zaryad miqdoriga to'g'ri proporsionaldir.

Faradeyning 1-qounining matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$m = k q$$

Bu yerda: m – elektrodda ajralgan massa, q – elektrolitdan o'tgan zaryad miqdori, k – proporsionallik koeffitsienti bo'lib, u elektrodslarning shakliga ham elektrodslar orasidagi mag'a ham, tok kuchiga ham, temperaturaga ham bog'liq bo'lmasdan, faqatgina moddaning turiga bog'liq bo'lgan kattalik bo'lib, moddaning *elektroximiyaviy ekvivalenti* deb ataladi.

Moddaning elektroximiyaviy ekvivalenti elektrolitdan $1Kl$ zaryad o'tganda elektrodda qancha massa ajralishini bildiradi.

$$k = \frac{m}{q} \quad \left[\frac{kg}{Kl} \right]$$

Faradeyning 1-qounini $q = It$ formuladan foydalanib, quyidagi ko'rinishda yozish ham mumkin:

$$m = k I t$$

Yuqoridagi formulaga asosan, Faradeyning 1-qounini quyidagicha ta'riflash ham mumkin:

Elektroliz vaqtida elektrodslarda ajralgan moddaning massasi tok kuchiga va tokning o'tib turish vaqtiga to'g'ri proporsionaldir.

Faradeyning 2-qouni: Moddalarning elektroximiyaviy ekvivalenti ularning ximiyaviy ekvivalentiga to'g'ri proporsionaldir.

Faradeyning 2-qounining matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{n}$$

Bu yerda: $F = e N_A = 96500 [Kl/mol]$ – Faradey doimiysi bo'lib, bir mol modda ajralganda o'tgan zaryad miqdorini bildiradi, M – elektrodda ajralgan moddaning atom holidagi molyar massasi, n – elektrodda ajralgan moddaning valentligi.

Faradeyning ikkita qonunini birlashtirsak, elektrodda ajralgan massa uchun quyidagi formulani yozish mumkin bo'ladi:

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} I t$$

Turli moddalarning elektroximiyaviy ekvivalentlari qiymatlari turlicha bo'lib, uning qiymatlari ilovada keltirilgan.

Angliyalik fizik-eksperimentator va ximik Makl Faradey 1791-yil 22-sentyabrda Angliyada London yaqinlagi Nyungton-Batts shaharchasida temirchi oilasida tug'ilgan. U London qirolik jamiyati va ko'plab ilmiy muassasalarning a'zosi bo'lgan, shuningdek Peterburg fanlar akademiyasining ham chet ellik faxriy a'zosi bo'lgan. Faradey hozirgi zamon barcha elektr jihozlari ishlab chiqarilishi asosida yotuvchi qonuni – elektromagnit induksiya qonunini kashf edi, elektrodvigatelning dastlabki modelini yaratdi. U qilgan ishlari ichida birinchi bo'lib transformator, tokning ximiyaviy ta'siri, elektroliz qonunlari, magnit maydonining yorug'likka ta'siri, diamagnetizm va boshqalar edi. Faradey fanga ion, katod, anod, elektrolit, dielektrik, diamagnetizm, paramagnetizm kabi terminlarni kiritgan. U elektromagnit maydon nazariyasi asoschisi bo'lib, keyin buni Maksvell umumlashtirgan. Faradey 1867-yili 25-avgustda Buyuk Britaniyaning Midleks shahrida Xemton-kort saroyida vafot etgan.



Maykl Faradey
(1791–1867)

Elektrolitdan o'tadigan tok kuchi manbaning kuchlanishiga, eritma konsentratsiyasi (erigan tuz, ishqor, kislota miqdori) ga, elektrodning aktiv yuzasiga to'g'ri proporsional bo'lib, elektrodlar orasidagi masofaga teskari proporsional va quyidagicha bo'ladi:

$$I \sim U, \quad I \sim n, \quad I \sim S, \quad I \sim t, \quad I \sim 1/d$$

Eritmaning muzlash va qaynash temperaturalari oralig'ida harorat ortishi bilan elektrolitning qarshiligi kamayib, o'tkazuvchanligi oshadi.

Elektrolitlarda elektr toki teng miqdorda manfiy va musbat ionlar harakatidan hosil bo'ladi.

$$I_{\text{um}} = I_{(+)} + I_{(-)} = 2I_{(+)} = 2I_{(-)}$$

Elektrolizning texnikada qo'llanilishi:

Elektroliz yordamida metall buyumlar sirtiga boshqa metalni silliq yupqa qilib qoplash **galvanostegiya** deyiladi. Metallarni zanglash va turli korroziyadan saqlash uchun yoki bezak berish uchun ularning sirti nikel, xrom, oltin va kumush suvi yuritiladi.

Buyumlarning shaklini qayta tiklash uchun uning sirtida bir nech millimetr qalinlikda metall qatlami hosil qilinadigan elektrolizga **galvanoplastika** deyiladi. Bu usuldan buyumlar, tanga va medallardan nusxa ko'chirishda foydalaniladi. Buning uchun avvali biror plastik materialdan (masalan, mumdan) predmatning nusxasi olinadi. So'ngra bu nusxaning yuzi elektr toki o'tkazadigan yupqa modda bilan qoplanadi va uni katod sifatida elektrolitik vannaga joylanadi. Vannadan tol o'tganda nusxani metallning qalin qatlami qoplaydi. Galvanoplastika usuli bilan arxeologik qazilmalarda topilgan qimmatbaho taqinchoqlarning aniq nusxasi, grampastinkalar ishlab chiqarish uchun shtamplar va hokozalar tayyorlanadi.

Elektroliz yo'li bilan ximiyaviy toza metal olish **metallarni rafinlash** deyiladi. Tabiiy rudalar tarkibidan toza mis, toza oltin va boshqa toza metallar ajratib olish maqsadida elektrolizning bu turidan foydalaniladi. Masalan, metall erituvchi pechdan olingan metallurgiya misining tarkibida odatda turli xil aralashmalar bo'ladi. Misni boshqa moddalardan tozalash uchun metallurgiya misining ulkan listlari (varaqlari) mis sulfat eritmasiga tushiriladi va tok manbainig musbat qutbiga ulanadi. Katod sifatida sof misdan qilingan yupqa list olinadi.

Elektroliz paytida anod bo'lib xizmat qiladyotgan metall tok zichligi ko'p joyda ko'p eriydi. Metallning g'adir-budur sirtining uchli, do'nglik joylarida elektr maydon kuchli

bo'lgani bois, bu joydan chiquvchi tok zichlishi ham katta bo'ladi. Shuning uchun do'nglik joylar tez edirilib silliqqlanib qoladi. O'yiqlik joylar esa yemirilmaydi. Elektrolizning bunday tatbiqi *elektrolitik silliqqlash* deyiladi.

Elektroliz hodisasidan *elektrometallurgiyada* ham foydalaniladi. Bunda erigan rudalardan alyuminiy, natriy, magniy, berilliy va boshqa metallar ajratib olinadi. Vannaning tubi va ko'mit elektrodlar orasida elektr yoyi yoqiladi. Bunda temperatura 2500 K dan ortadi. Yoy alangasida ruda eriydi va molekullarning elektrolitik dissotsatsiyasi bo'ladi. Dissotsatsiyalangan erigan ruda orqali elektr toki o'tkazilganda vanna tubiga metall molekullari cho'kadi. Erigan metall vannaning qiya tubi orqali maxsus kovshlarga oqib tushadi.

Vodorod atomi o'rnida atom massasi 2ga teng bo'lgan vodorod izotopiga deuteriy (D) deyiladi. Bu izotop kislorod bilan birikkanda og'ir suv (D_2O) olinadi. Tabiiy suv tarkibida juda kam miqdorda bo'lsa ham og'ir suv bo'ladi. Elektroliz yordamida suvning tarkibidan og'ir suvni ajratib olish mumkin ekan. Og'ir suv molekulasi oddiy suvnikidan og'ir bo'lgani uchun elektroliz jarayonida uning harakatchanligi past bo'ladi. Shuning uchun ham elektroliz jarayonida ajralgan gazlarda engil vodorod yoki oddiy suv molekullari bo'lib, elektrolitda esa og'ir suvning konsentratsiyasi qoladi. Natijada, elektroliz yo'li bilan D_2O ning konsentratsiyasi ko'p bo'lgan suv olinadi. Bunga *og'ir suv olish* deyiladi.



1. Elektroliz deb nimaga aytiladi?
2. Elektrolit, elektrod tushunchalariga ta'rif keltiring.
3. Suvuqliklarda elektr toki qanday hosil bo'ladi?
4. Faradey qonunlarini aytib bering.
5. Elektroliz jarayonidagi tok kuchi nimalarga bog'liq?
6. Elektrolizning texnikada qo'llanishini aytib bering.



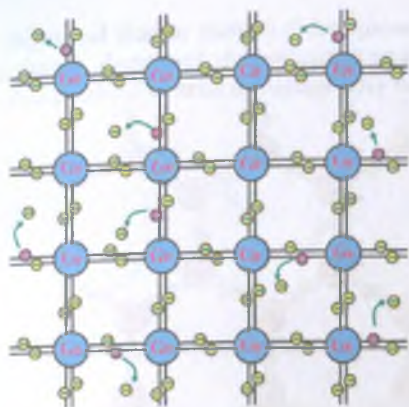
§ 9. YARIM O'TKAZGICHLARDA ELEKTR TOKI.

Yarim o'tkazuvchilar deb ataluvchi elementlar D.I.Mendelev jadvalida ixcham gruppasi tashkil qiluvchi 12ta ximiyaviy elementdan iborat bo'lib, undan tashqari ko'pgina anorganik va organik birikmalar ham kiradi. Fizikada faqat yarimo'tkazgichlar bilan shug'ullanuvchi bo'lim bo'lib, uni yarimo'tkazgichlar fizikasi deyiladi. Zamonaviy texnika muvaffaqiyatlarini yarim o'tkazgichlar fizikasisiz tasavvur qilib bo'lmaydi.

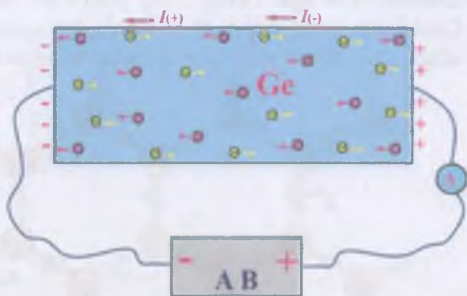
Sof yarim o'tkazgich:

Ximiyaviy elementlarning Mendelev davriy sistemasida Germaniy (Ge), kremniy (Si), indiy (In), galliy (Ga), mishyak (As), fosfor (P), surma (Sb) kabi elementlar borki, ular elektr xossalriga ko'ra o'tkazgichlar va dielektriklar oralig'ida turadi. Bu elementlar juda past temperaturalarda o'zini dielektrik kabi tutadi. Temperatura ortib borgan sari tok o'tkazgich xususiyati ham tobora o'tkazgichlarga o'xshab boradi. Shuning uchun ham bu elementlarni elektr xossalriga ko'ra *yarim o'tkazgichlar* deyiladi.

Keling, IV-gruppada joylashgan germaniy (Ge) yoki kremniy (Si) sof yarim o'tkazgichlaridan birining, masalan germaniyning elektr xossalarini tekshirib ko'raylik. Davriy sistemaning 32-katagida turuvchi bu elementda 32ta elektron bo'lib, shulardan 28tasi ichki elektron qobiqlarda, 4tasi esa tashqi qobiqda joylashgan. Shuning uchun ham germaniy davriy sistemada IV-gruppadan o'rin olgan. Boshqacha aytganda uning valentligi 4ga teng, 4ta tashqi elektronlar orqali qo'shni atomlar bilan bog' hosil qilishi



a)



b)

9.1-rasm

mumkin. Sof germaniyda har bir atom atrofidagi 4ta germaniy atomi bilan valentlik elektronlari orqali kovalent bog' (juft bog') hosil qiladi. Juda past temperaturalarda sof yarim o'tkazgich umuman tok o'tkazmaydi. Chunki uning tok tashuvchi erkin elektronlari yo'q, 4ta valentlik elektronlari ham o'z o'rnida mahkam turibdi. Temperatura ko'tarilgan sari o'tkazgichlardan farqli ravishda sof yarim o'tkazgichlarning elektr qarshiligi kamayib, o'tkazuvchanligi yaxshilanadi, ya'ni undan o'tadigan tok kuchi ortadi. Chunki, kovalent bog'lanishdagi valentlik elektronlari yadroga zaifroq bog'langanligi sababli issiqlik ta'sirida bu elektronlar yadrodan uzilib erkin elektronlarga aylanadilar. Uzilgan elektron butun kristal panjaralari oralab betartib, xotik harakat qiladilar. Elektronning joyida esa bo'shab qolgani tufayli elektron yetishmovchiligi paydo bo'ladi. Bu bo'sh, vakant joyini *kovak* deb ataymiz. Kovaklar +e zaryadga ega. Agar sof yarim o'tkazgichga elektr maydoni ta'sir ettirilsa, elektronlar (+) qutbga tomon, kovaklar esa (-) qutbga tomon harakatlana boshlaydilar (9.1-rasm).

Sof yarim o'tkazgichda elektr toki kovak va elektronlarning harakati tufayli sodir bo'ladi.

Kovaklar soni elektronlar soniga teng bo'lgani uchun ular harakati tufayli hosil bo'lgan tok kuchlari ham teng bo'ladi.

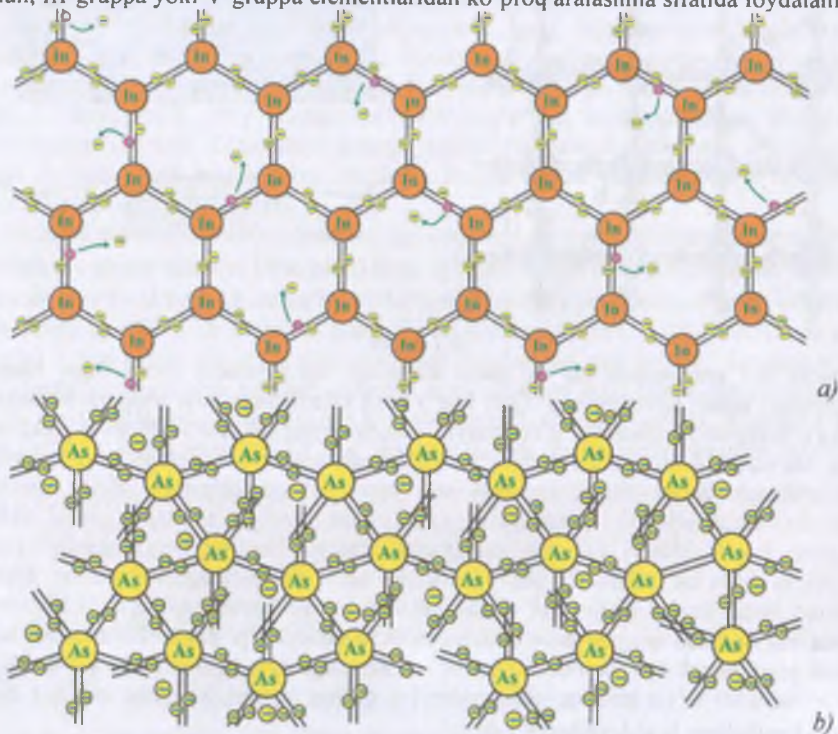
$$I_{kov} = I_{el}$$

Sof yarim o'tkazgichda umumiy elektr toki quyidagicha bo'ladi:

$$I_{um} = I_{kov} + I_{el} = 2I_{kov} = 2I_{el}$$

Agar biz sof yarimo'tkazgichni IV-gruppadan emas, balki III-gruppa yoki V-gruppadan tanlasak, nima bo'lardi? Masalan, III-gruppadagi indiy (*In*) yoki V-gruppadagi mishtyak (*As*) elementlarini olsak, bu sof yarim o'tkazgichlarning valentlik elektronlari 3 yoki 5ga teng bo'lgani uchun ularning tashqi qobiqlarida 3ta yoki 5ta valentlik elektronlari bor. Demak, har bir indiy atomining 3ta, mishtyak elementining esa 5ta qo'shnisi bo'lib, shular bilan valentlik elektronlari orqali kovalent bog'lar hosil qiladi (9.2-rasm). IV-gruppadagi element kabi III-gruppa yoki V-gruppa elementlari ham past temperaturalarda o'zini dielektrik kabi tutib, temperatura ko'tarilgan sari o'tkazuvchanlik yaxshilanib boradi. Indiy atomi valentlik bog'lari tekislikda bo'lgani uchun chiroyli tasvirlangan. Mishtyak atomi esa qo'shni atomlar bilan fazoviy yacheyka hosil qilgani uchun tekislikda tasviri

chalkashlikka ega. Lekin, indiy yoki mishyakni asosiy tarkib sifatida ishlatib bo'lmaydi. Chunki ular germaniy yoki kremniy kabi mustahkam qattiq holatda bo'lmaydi. Shuning uchun, III-gruppa yoki V-gruppa elementlaridan ko'proq aralashma sifatida foydalaniladi.



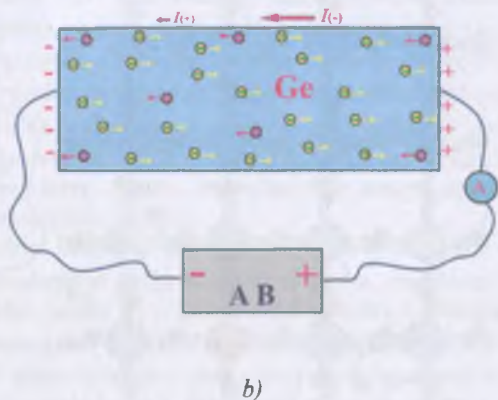
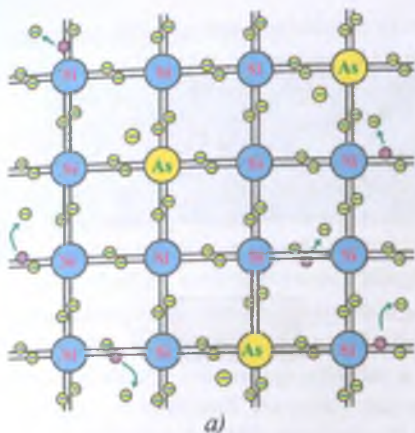
9.2-rasm

Sof yarim o'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi juda katta ($\sim 10^{-3} \text{ Om} \cdot \text{m}$) bo'lib, bu sof yarim o'tkazgichga atigi 0,001% miqdorda III-gruppa yoki IV-gruppa elementlaridan aralashtirilsa, hosil bo'lgan aralashmali yarimo'tkazgichning solishtirma qarshiligi 10^5 marta, ya'ni ($\sim 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}$) gacha oshadi.

Sof yarimo'tkazgichga boshqa yarimo'tkazgichdan juda oz miqdorda qo'shilsa (masalan, germaniya fosfor yoki kremniyga indiy elementidan umumiy atom sonining 0,001% miqdorida aralashtirilsa) yarimo'tkazgichning solishtirma qarshiligi keskin kamayib, uning elektr o'tkazuvchanligi keskin ortadi. Bunda aralashtirilayotgan yarimo'tkazgichning valentligi farq qilish kerak. Bunday aralashmali yarimo'tkazgichlar ikki tipda bo'lishi mumkin.

n-tipdagi yarimo'tkazgich:

IV-gruppada joylashgan germaniy (Ge) yoki kremniy (Si) kristaliga V-gruppadagi mishyak (As) yoki fosfor (P) yoki surma (Sb) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda aralashtirilgan bo'lsin. Aytaylik, kremniy (Si) kristaliga oz miqdorda mishyak (As) aralashtirilgan bo'lsin. Bunday aralashmali yarim o'tkazgichda qanday jarayon kechadi?



9.3-rasm

Mishyak atomi juda oz miqdorda aralashtirilgani uchun asosiy struktura kremniyning 4talik strukturasi bo'lib qolaveradi, ya'ni mishyak kremniy strukturasi ta'sir qilmaydi. Mishyak atomi o'zining 5ta valentlik elektronidan 4tasi orqali 4ta qo'shni kremniy atomlari bilan kovalent bog' hosil qiladi. Beshinchi elektroni esa kovalent bog'lanishda ishtirok etmaydi. Shuning uchun, bu elektron ozgina tashqi ta'sir natijasida erkin elektronga aylanishi mumkin. Har bitta mishyak atomi bitadan erkin elektron hosil qiladi. Shuning uchun, elektronini beradigan bunday aralashmali o'tkazgich *donor (beruvchi) aralashma* deyiladi. Donor aralashmali yarim o'tkazgichda elektr toki elektronlar harakatidan sodir bo'lganligi tufayli bunday tipdagi yarim o'tkazgichlar *n-tipdagi yarim yarim o'tkazgichlar* deyiladi. Bu yerda *n-negative* so'zidan olingan bo'lib, manfiy degan ma'noni bildiradi (9.3-rasm).

n-tipdagi yarim o'tkazgichlarlarda kovalent bog'da ishtirok etmagan erkin elektrondan tashqari issiqlik harakati tufayli ham teng miqdordagi elektron-kovak juftliklari paydo bo'ladi. Lekin, umumiy elektronlar soni baribir umumiy kovaklar sonidan ko'pligicha qolaveradi.

n-tipdagi yarim o'tkazgichlarlarda elektronlar asosiy zaryad tashuvchilar, kovaklar esa noasosiy zaryad tashuvchilar hisoblanadi.

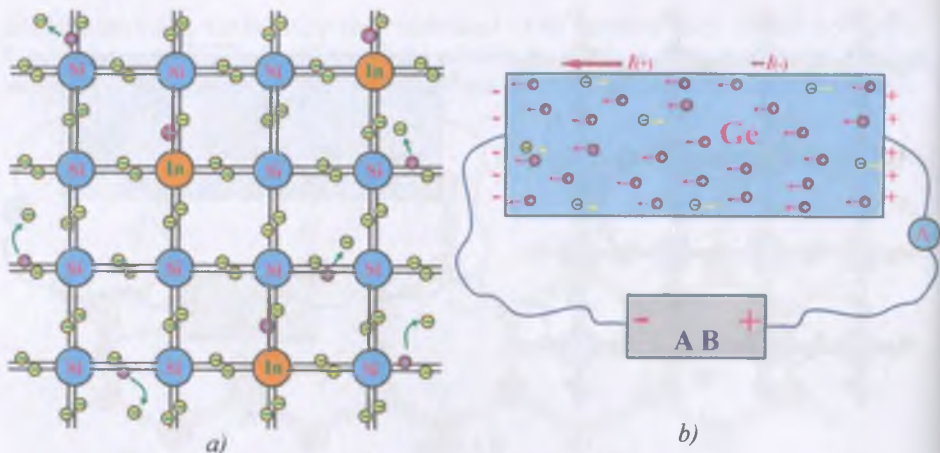
n-tipdagi yarim o'tkazgich kristaliga elektr maydoni ta'sir qilganda, asosiy tok tashuvchi elektronlar va noasosiy tok tashuvchi kovaklar qarama-qarshi tomonga harakatlanib, umumiy tokni hosil qiladi. Lekin, elektronlar harakatidan hosil bo'layotgan tok kovaklar harakatidan hosil bo'layotgan tokka qaraganda ancha katta bo'ladi.

$$I_{EL} \gg I_{KOV}, \quad I_{um} = I_{EL} + I_{KOV} \approx I_{EL}$$

Shunday qilib, *n*-tipdagi yarim o'tkazgichdagi tok deyarli elektronlar harakatidan yuzaga kelar ekan.

p-tipdagi yarim o'tkazgich:

IV-gruppada joylashgan germaniy (Ge) yoki kremniy (Si) kristaliga III-gruppadagi indiy (In) yoki galliy (Ga) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda aralashtirilgan bo'lsin. Aytaylik, kremniy (Si) kristaliga oz miqdorda indiy (In) aralashtirilgan bo'lsin. Bunday aralashmali yarim o'tkazgichda qanday jarayon kechadi?



9.4-rasm

Indiy atomi juda oz miqdorda aralashtirilgani uchun asosiy struktura kremniyning 4talik strukturasi bo'lib qolaveradi, ya'ni indiy kremniy strukturasi ta'sir qilmaydi. Indiy atomi o'zining 3ta valentlik elektronining hammasini berib, atrofidagi 4ta qo'shnisi kremniy atomlaridan 3tasi bilan kovalent bog' hosil qiladi. To'rtinchi qo'shni kremniy atomi bilan kovalent bog' hosil qilish uchun indiy atomida elektron etmaydi. Natijada, elektron etishmayotgan joyda kovak paydo bo'ladi. Shuning uchun, har bitta indiy atomi bitadan kovak hosil qiladi. Kovak o'ziga elektron qabul qiluvchi bo'lgani uchun bunday aralashmali o'tkazgich *akseptor (qabul qiluvchi) aralashma* deyiladi. Akseptor aralashmali yarim o'tkazgichda elektr toki kovaklar harakatidan sodir bo'lganligi tufayli bunday tipdagi yarim o'tkazgichlar *p-tipdagi yarim yarim o'tkazgichlar* deyiladi. Bu erda *p – positive* so'zidan olingan bo'lib, musbat degan ma'noni bildiradi (9.4-rasm).

p-tipdagi yarim o'tkazgichlarda kovalent bog' hosil qilishga etmay qolgan elektron o'rniida hosil bo'lgan kovaklardan tashqari issiqlik harakati tufayli ham teng miqdordagi elektron-kovak juftliklari paydo bo'ladi. Lekin, umumiy kovaklar soni baribir umumiy elektronlar sonidan ko'pligicha qolaveradi.

p-tipdagi yarim yarim o'tkazgichlarda kovaklar asosiy zaryad tashuvchilar, elektronlar esa noasosiy zaryad tashuvchilar hisoblanadi.

p-tipdagi yarim o'tkazgich kristaliga elektr maydoni ta'sir qilganda, asosiy tok tashuvchi kovaklar va noasosiy tok tashuvchi elektronlar qarama-qarshi tomonga harakatlanib, umumiy tokni hosil qiladi. Lekin, kovaklar harakatidan hosil bo'layotgan tok elektronlar harakatidan hosil bo'layotgan tokka qaraganda ancha katta bo'ladi.

$$I_{kov} \gg I_{el}, \quad I_{um} = I_{kov} + I_{el} \approx I_{kov}$$

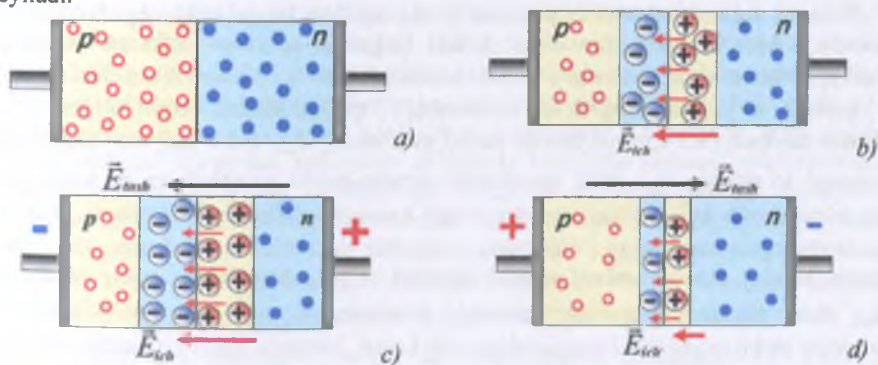
Shunday qilib, n-tipdagi yarim o'tkazgichdagi tok deyarli elektronlar harakatidan yuzaga kelar ekan.

p- n o'tish hodisasi:

p-tipdagi yarimo'tkazgich bilan n-tipdagi yarimo'tkazgichni kontakt holiga keltiraylik (9.5-a,rasm). Bu yarimo'tkazgichlarni oddiy mexanik yo'l bilan kontaktga keltirib bo'lmaydi. Chunki, bu usul yordamida ularni atomlar o'lchami qadar bir-biriga yaqinlashtirishning iloji yo'q. Ularni kontaktga keltirishni quyidagicha faraz qilish

mumkin: IV-gruppada joylashgan germaniy (Ge) yoki kremniy (Si) kristalidan bittasi berilgan bo'lsin. Bu sof yarimo'tkazgichning birinchi yarmiga III-gruppadagi indiy (In) yoki galliy (Ga) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda, ikkinchi yarmiga esa V-gruppadagi mishyak (As) yoki fosfor (P) yoki surma (Sb) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda aralashtirilgan bo'lsin. Ana shunda p -tipdagi va n -tipdagi yarimo'tkazgichlar eng ideal kontakt holiga keltirilgan deb tasavvur qilish mumkin bo'ladi. Undan tashqari bu aralashmali yarim o'tkazgichlardan birini eritib ikkinchisining ustiga quyib yopishtirish orqali ham ulardan kontakt hosil qilish mumkin.

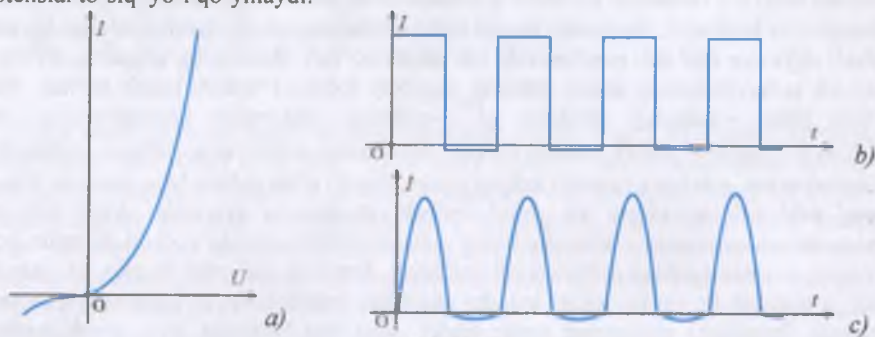
p -tipdagi va n -tipdagi yarimo'tkazgichlar kontaktga keltirish onida ($t = 0$) dastlab p -sohadagi kovaklar konsentratsiyasi n -sohadagidan ancha ko'p, va aksincha, n -sohadagi elektronlar konsentratsiyasi p -sohadagidan ancha ko'p bo'ladi (9.5-a,rasm). Diffuziya hodisasi tufayli p -sohadagi kovaklar n -sohaga va aksincha n -sohadagi elektronlar esa p -sohaga o'ta boshlaydi. Bu asosiy zaryad tashuvchilarning qarma-qarshi tomonga harakati tufayli *diffuziya toki* deb nomlanuvchi tok paydo bo'ladi. Boshqacha aytganda, diffuziya toki tok tashuvchilarning asosiy sohadan noasosiy sohaga o'tishida paydo bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan n -sohadagi kovaklar va p -sohadagi elektronlar konsentratsiyasi orta boshlaydi. Natijada, xotik harakat tufayli n -sohadagi kovaklar p -sohaga, p -sohadagi elektronlar esa n -sohaga (dastlab kelgan joyiga) qaytib o'tib qolishi ham mumkin. Bunda *dreyf toki* deb ataladigan tok hosil bo'ladi. Boshqacha aytganda, dreyf toki tok tashuvchilarning noasosiy sohadan asosiy sohaga o'tishida paydo bo'ladi. Kontakt hosil qilingan paytdan boshlab diffuzion tok kamayib, dreyf tok esa ortib boradi. Ma'lum bir vaqt o'tgandan keyin bu toklar miqdor jihatidan tenglashadi va kontakt chegarasida dinamik (harakatli) muvozonat qaror topadi. Ana shu hodisaga p - n o'tish hodisasi deyiladi.



9.5-rasm

p -tipdagi va n -tipdagi yarimo'tkazgichlar kontaktga keltirish onidan ($t = 0$) boshlab p -sohadagi kovaklar, n -sohadagi elektronlar konsentratsiyasi kamaya boshlaydi. Bitta kovak n -sohaga o'tganda p -sohada kovak yetishmasligi tufayli bitta manfiy ion paydo bo'ladi. Xuddi shunigdek, bitta elektron p -sohaga o'tganda n -sohada elektron yetishmasligi tufayli bitta musbat ion paydo bo'ladi. Lekin bu ionlar kontakt chegarasida hosil bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan p -sohada manfiy ionlar soni, n -sohada esa musbat ionlar soni ortib boradi. Ma'lum vaqtdan keyin kontakt chegarasida xuddi kondensator

qoplamalari kabi qarama-qarshi ioshrali ionlar hosil bo'lib, bunda mubat qoplamadan manfiy qoplamaga yo'nalgan ichki $\vec{E}_{ich}$ elektr maydoni hosil bo'ladi. Bu elektr maydoni diffuziya tokini tormozlash, dreyf tokini tezlashtirish xususiyatiga ega. Boshqacha aytganda, bu $\vec{E}_{ich}$ maydon noasosiy tok tashuvchilar uchun doimo ochiq bo'lib, asosiy zaryad tashuvchilar uchun esa potensial to'siq vazifasini o'taydi. O'tkazgichlar kontakt holiga keltirilgan ondan boshlab potensial to'siq kuchaya boshlaydi va dinamik muvozonat paytida esa bu to'siq o'zining eng maksimal qiymatiga erishadi. Shuning uchun ham ma'lum bir vaqtdan keyin diffuzion va dreyf toklari miqdor jihatidan tenglashadi va kontakt chegarasida dinamik (harakatli) muvozonat qaror topadi. Dinamik muvozonat qaror topgan paytda p -sohadagi kovaklar, n -sohadagi elektronlar konsentratsiyasi o'zining eng kichik qiymatiga erishadi va bundan ham kamayishiga potensial to'siq yo'l qo'ymaydi.



9.6-rasm

Dinamik muvozonat paytida potensial to'siq ma'lum bir qalinlikka ega bo'ladi (9.5-b, rasm). Agar dinamik muvozonat holida turgan $p-n$ yarim o'tkazgichlari tashqi manbaga ulansa, nima hodisa ro'y berishi mumkin? Agar p -yarimo'tkazgich manbaning (+) qutbiga, n -yarimo'tkazgich esa manbaning (-) qutbiga ulansa, bunday ulanish **to'g'ri ulanish** deyiladi (9.5-c, rasm). Bunda tashqi manbaning $\vec{E}_{tash}$ elektr maydoni chegaradagi potensial to'siqning $\vec{E}_{ich}$ ichki maydoniga qarama-qarshi yo'naladi va bu to'siq enini qisqarishiga olib keladi. Natijada, dreyf toki kamayib, diffuzion toki oshadi. Agar p -yarimo'tkazgich manbaning (-) qutbiga, n -yarimo'tkazgich esa manbaning (+) qutbiga ulansa, bunday ulanish **teskari ulanish** deyiladi (9.5-d, rasm). Bunda tashqi manbaning $\vec{E}_{tash}$ elektr maydoni chegaradagi potensial to'siqning $\vec{E}_{ich}$ ichki maydoni bilan bir xil yo'naladi va bu to'siq enini kengayishiga olib keladi. Natijada, dreyf toki oshib diffuzion toki esa kamayadi. Lekin, dreyf tokini noasosiy zaryad tashuvchilar hosil qilgani uchun teskari ulanishdagi tok kuchi to'g'ri ulanishdagi tok kuchiga nisbatan ming martalab kichik bo'ladi. Shuning uchun ham kontakt holatga keltirilgan $p-n$ yarim o'tkazgichlari tokni faqat bir tomonga o'tkazish xususiyatiga ega. Diodlarning ishlashi $p-n$ o'tish hodisasiga asoslangan.

Diod uchun volt-amper xarakteristikasi 9.6-a, rasmda tasvirlangan. Agar diodni uchlarini o'zgarmas tok manbaining qutblariga teng vaqtlar ichida almashtirib ulab turilsa, 9.6-b, rasmdagi grafik bo'yicha tok o'tadi. Agar diodni uchlarini o'zgaruvchan tok

manbaining qutblariga ulansa, bu tok manbaining qutblari avtomatik ravishda alamashib turgani bois 9.6-c, rasmdagi grafik bo'yicha tok o'tadi.



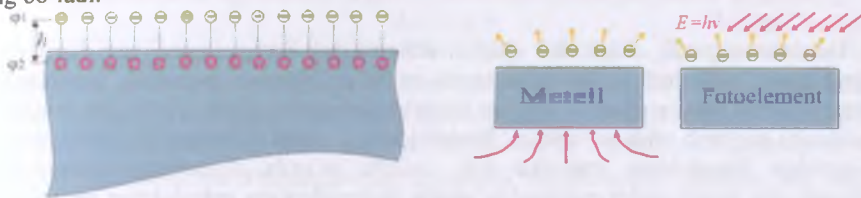
1. Sof yarim o'tkazgich deb nimaga aytiladi? Ularda tok qanday hosil bo'ladi?
2. p -tipdagi yarim o'tkazgich deb nimaga aytiladi? Ularda tok qanday hosil bo'ladi?
3. n -tipdagi yarim o'tkazgich deb nimaga aytiladi? Ularda tok qanday hosil bo'ladi?
4. $p-n$ o'tish hodisasini tushuntiring.



§ 10. VAKUUMDA ELEKTR TOKI

Elektron emissiya:

Metall atomlarining tashqi qavatidagi valentlik elektronlari yadroga ancha zaif bog'langan bo'ladi. Shu boisdan ham bu elektronlar u yoki bu atomga tegishli bo'lmasdan, balki butun kristalga, kristaldagi barcha atomlarga tegishli bo'ladi. Metalldagi erkin elektronlar soni valentlik elektronlarini atomlar soniga ko'paytmasiga teng bo'ladi.



10.1-rasm

Erkin elektronlar metall ichida issiqlik harakatida ishtirok etadi va kristal panjaralari oralab taxminan $g \approx 100 \text{ km/s}$ tezlikda xotik harakat bilan daydib yuradi. Kristal panjaralarida o'tirgan atomlar esa tugun atrofida fazoviy tebranma harakat qiladi. Erkin elektronlar harakati davomida tugundagi atomga kelib urilishi ham yoki tugunlardagi atomlar oralab o'tib ketishi ham mumkin. Metall sirtiga kelib qolgan erkin elektron atomlar orasidan sakrab kristal panjaralardan tashqariga chiqishi va mutlaqo erkin bo'lib qolishi ham mumkin (10.1-rasm). Lekin, bunga yetarlicha katta tezlik kerak bo'ladi. Chunki, elektron kristalldan tashqariga chiqqanda kristallda elektron yetishmovchiligi paydo bo'ladi va kristal sirti $+e$ zaryadga bo'ladi. Bu zaryadning elektr maydoni esa uchib chiqqan elektronni tormazlaydi va kristal sirtini tark yetib ketishga yo'l qo'ymaydi. Xuddi osmonga otilgan tosh biror balandlikka ko'tarilib qaytib tushgani kabi metall sirtida ham mikrosakrashlar bo'ladi. Metall sirtining har 1 sm^2 yuzasidan sekundiga trillionlab elektronlar kristal sirtidan tashqariga chiqib yana qaytib tushib turadi, ya'ni trillionlab mikrosakrashlar sodir bo'ladi. Bu mikrosakrash balandligini $\frac{m_e g^2}{2} = \frac{k e^2}{r}$ dan

topish mumkin. Unga ko'ra mikrosakrash balandligi $h = r = \frac{2k}{m_e} \left(\frac{e^2}{g} \right)^2 \sim 0,05 \text{ mkm}$ tartibida

bo'ladi. Metallning sirti (+) ishora bilan, sakrab chiqqan elektronlar esa (-) ishora bilan zaryadlangan kondensator qoplamalariga o'xshash bo'ladi. Bu qatlamlar orasida $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ potentsiallar farqiga ega bo'lgan taxminan bir jinsli elektr maydoni hosil bo'lib, bu maydon metall sirtidan uchib chiqqan elektronlarni tormozlash xususiyatiga ega bo'ladi (9.1-rasm). Uchib chiqayotgan elektronning kinetik energiyasi shunday qiymatga

ega bo'lish kerakki, bu energiyaga teng ish bajarilganda tormozlovchi elektr maydonini butunlay yengib chiqa olsin.

Elektronning metall sirtini butunlay uzib chiqib ketishi uchun kerak bo'lgan energiyaga metall sirtidan elektronning chiqish ishi deyiladi.

$$A_{chiq} = \frac{m g_0^2}{2} = e(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Turli metallar uchun elektronning chiqish ishi turlicha bo'lib, deyarli barcha metallar uchun chiqish ishining qiymati $A_{chiq} > 1 \text{ eV}$ bo'ladi. Odatdagi xona temperaturasida metallardagi elektronning o'rtacha kinetik energiyasi $E \sim 0,04 \text{ eV}$ ga yaqin bo'lib, hatto $0,1 \text{ eV}$ energiyali elektronlar soni jami erkin elektronlarning juda kam qismini tashkil etadi. Shuning uchun, odatdagi temperaturalarda issiqlikdan elektron chiqishi umuman sodir bo'lmaydi. Ko'pchilik metallarda ancha yuqori, ya'ni 2000 K temperaturadan baland temperaturalarda elektronlarning issiqlik harakatidan chiqishi sodir bo'lar ekan.

Qizdirilgan metall sirtidan elektronning chiqish hodisasiga termoelektron emissiya hodisasi deyiladi.

Umuman olganda, elektronlar chiqish uchun kerak bo'lgan energiyani faqat isitish tufayli emas, balki turli yo'llar bilan berish mumkin. Masalan, yorug'lik, ultrabinafsha, rentgen nurlari bilan yoritish, α -nurlari bilan bombardimon qilish, kuchli elektr maydoni yordamida sug'urib olish va hokoza. Metall ichidagi erkin elektronni yorug'lik ta'sirida chiqarishga *fotoelektron emissiya* deb, issiqlik ta'sirida chiqarishga *termoelektron emissiya* deb, kuchli elektr maydoni ta'sirida chiqarishga esa *avtoelektron emissiya* deb ataladi.

Elektronga uzatilgan umumiy energiya chiqish ishiga va elektronning maksimal kinetik energiyasiga sarf bo'ladi.

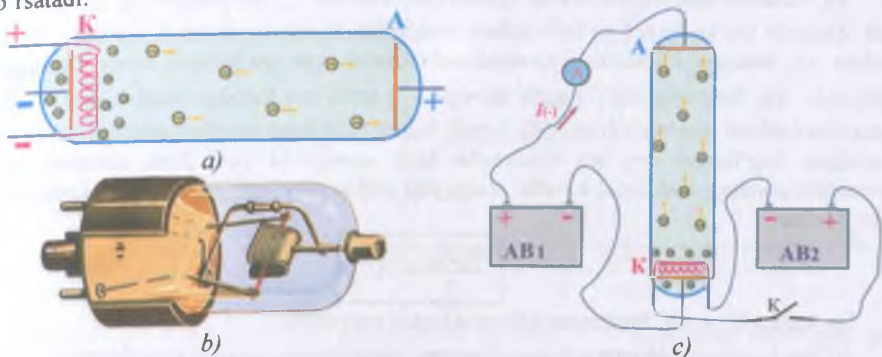
$$E = A_{chiq} + \frac{m_e g_{max}^2}{2} \quad \text{yoki} \quad h\nu = A_{chiq} + \frac{m_e g_{max}^2}{2}$$

Ikki elektrodli elektron lampa—diod:

Termoelektron emissiyani kuzatish uchun ichida ikkita elektrodi bo'lgan vakuumli lampadan foydalanish mumkin. Elektrodlardan biri erish temperaturasi yuqori bo'lgan metal(volfram, molibden va b.) dan va tok bilan qizdiriladigan elektrod bo'lib, uni *katod* deyiladi. Ikkinchi elektrod esa katoddan chiqqan elektronlarni o'zida to'playdigan sovuq elektrod bo'lib, uni *anod* deyiladi (10.2,a-rasm). 10.2,b-rasmda vakuumli diod tasvirlangan. 10.2,c-rasmda vakuumli lampaga kalitlar orqali o'zgaruvchan kuchlanishga ega bo'lgan ikkita akkumulyatorlar batareyasi AB_1 va AB_2 ulangan. Batareyalardan biri AB_1 katod va anod orasiga har xil potentsiallar ayirmasi berib, bu elektrodlar orasidagi fazoda kuchli yoki kuchsiz elektr maydoni hosil qilish imkoniga ega. Batareyalardan ikkinchisi AB_2 katodni yuqori temperaturagacha qizdirib, katod sirtidan termoelektronlarni bug'laydi va katod atrofida elektronlar buluti hosil bo'ladi. AB_2 batareyaning kuchlanishi qancha katta bo'lsa, katod atrofidagi elektronlar buluti ham shuncha quyuqlashadi. Bu termoelektronlar AB_1 batareya hosil qilgan elektr maydoni yordamida anodga tomon yo'naltiriladi.

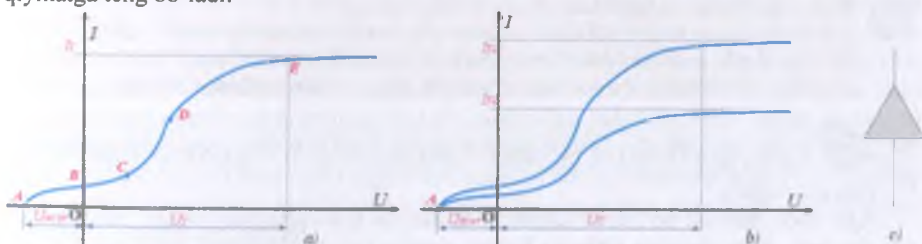
Dastlab, K_1 kalit ulangan K_2 kalit uzoq holatni qaraylik. Bunda, katod tok manbaidan ajratilgan bo'lgani uchun u sovuq holatda bo'ladi va o'zidan elektronlar chiqarmaydi.

Shuning uchun, katod va anod orasidagi vakuumda tok tashuvchi zaryadli zarralar bo'lmaydi. Natijada, K_1 kalit ulangan bo'lsa ham zanjirdagi milliampermetr mA nolni ko'rsatadi.



10.2-rasm

Endi K_2 kalitni ulasak, katod asta-sekin qiziy boshlaydi. Temperatura etarlicha ko'tarilganda termoelektron emissiya hodisasi tufayli katod metali o'zidan elektronlarni bug'lay boshlaydi. Bug'langan elektronlar katod atrofida elektronlar bulutini hosil qiladi. K_1 kalit ulangan, lekin AB_1 batareya kuchlanishi nol bo'lsa ham milliampermetr mA zanjirda oz bo'lsa-da tok o'tayotganligini ko'rsatadi. Bunga sabab, katoddan bug'langan elektronlarning qandaydir ozgina qismi xotik harakat tufayli anodga borib tushib turadi. Bu holat 10.3,a-rasmdagi B nuqtaga to'g'ri kelib, bunda zanjirdagi tok kuchi I_{OB} qiymatga teng bo'ladi.



10.3-rasm

Endi AB_1 batareya kuchlanishi asta-sekin oshirila boshlansa, 10.3-a,rasmda ko'rsatilgan $BCDE$ egri chizig'a ega bo'lamiz. Zanjirdagi tok kuchi oshishi D nuqtadan boshlab sekinlasha boshlaydi. Batareya kuchlanishini qanchalik oshirmaylik tok kuchining qiymati I_1 dan oshmaydi. Tok kuchining bu qiymatiga **to'yinish toki** deyiladi. Bunda vaqt birligida katodda qancha elektron bug'lanayotgan bo'lsa, shu vaqt ichida o'sha elektronlarning hammasi anodga etib kelmoqda.

To'yinish tokining qiymatini yanada oshirish uchun AB_2 batareyaning kuchlanishini oshirish kerak, ya'ni ionlantirgich quvvatini oshirish kerak bo'ladi. Shunda vaqt birligida katoddan ko'proq elektronlar bug'lanadi va zanjirdagi tok kuchi ham oshadi. Bunda to'yinish tokining qiymati kattaroq bo'ladi. 10.3, b-rasmda katod kuchsiz va kuchli

qizdirilgan ikki holat uchun volt-amper xarakteristika berilgan. Bu ikki holatga mos to'yinish toklarining qiymatlari I_{T1} va I_{T2} bo'lib, ular ayni bir U_T qiymatdan boshlanadi.

AB_1 batareya kuchlanishi nol bo'lganda ham zanjirda I_{OB} qiymatga teng tok kuchi bor edi. Zanjirda tok kuchi nol bo'lishi uchun nima qilish kerak degan savol tug'iladi. Buning uchun AB_1 batareya kuchlanishi tormozlovchi xususiyatga ega bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda AB_1 batareyaning (-) qutbi anodga, (+) qutbi esa katodga ulanishi kerak, ya'ni batareya qutblari almashtirib ulanishi kerak. Batareyaga biror manfiy potensial berilganda katoddan bug'langan eng tez elektronlar ham anodgacha yetib kela olmaydi, ya'ni termoelektronning maksimal kinetik energiyasi elektr maydoniga qarshi harakatlanishga sarf bo'ladi.

$$\frac{m_e g^2}{2} = eU_T$$

Bu yerda: $U_T - AB_1$ batareyaning tormozlovchi potentsiali.

10.3-a, b rasmda vakuum uchun volt-amper xarakteristika grafigi tasvirlangan.

Ikki elektrodli elektron lampalar tokni bir tomonga o'tkazish xususiyatiga ega. Termoelektronlar katoddan anodga tomon harakatlanada, lekin anoddan katodga tomon harakatlanmaydi. Shuning uchun, tok anoddan katodga tomon o'tadi, katoddan anodga tomon esa o'tmaydi. Tokni bir tomonga o'tkazuvchi qurilmani **diod** deb ataladi. 10.3-c, rasmda diodning sxematik tasviri berilgan. Bundan tashqari diodlar o'zgaruvchan tokni to'g'irlash, o'zgarmas tokka aylantirish vazifasida ham qo'llaniladi. Lampali diodlar o'tgan asrning oxirgi o'n yilliklarigacha mikroelektronika va radiotexnikada qo'llanilgan bo'lib hozirgi kunda uning vazifasini yarimo'tkazgichli diolar va tranzistorlar egallagan.



1. Termoelektron emissiya hodisasi deb nimaga aytiladi?
2. Termoelektron emissiya hodisasi uchun energiyaning saqlanish qonunini yozing.
3. Chiqish ishi, maksimal kinetik energiya va to'xtatuvchi potentsial nima?
4. Termoelektron emissiya hodisasi uchun volt-amper xarakteristikasini chizing.



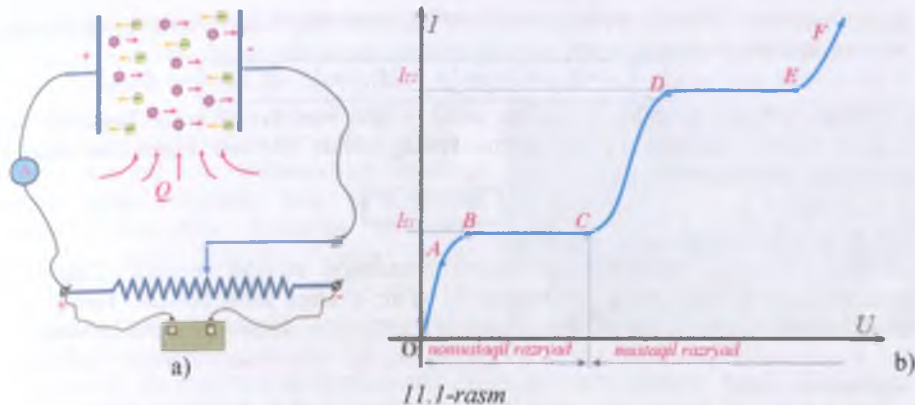
§ 11. GAZLARDA ELEKTR TOKI. RAZRYAD VA UNING TURLARI.

Gaz razryadi:

Agar atom neytral bo'lmasa (elektron etishmasa yoki ortiqcha bo'lsa), bunday atom **ion** deyiladi. Agar elektron ortiqcha bo'lsa, manfiy ion deb, elektron yetishmasa musbat ion deb ataymiz.

Gaz molekullari bir-biri bilan to'qnashganda, agar to'qnashuv yetarlicha kuchli bo'lsa, atomdagi birorta atom tashqariga chiqib ketadi yoki qo'shni atomga o'tib ketadi, ya'ni neytral molekulaning ionlanishi sodir bo'ladi. Xona temperaturasida havo molekullarining issiqlik harakati tufayli o'zaro to'qnashuvi bu molekullarni ionlantirishga yetarli emas. Demak, bu molekullarni ionlantirish uchun tashqi qo'shimcha ta'sir kerak.

11.1-a, rasmdagi zanjirni yig'aylik. Dastlab ampermetr nolni ko'rsatadi. Chunki, xona temperaturasida kondensator qoplamalari orasidagi havo dielektrik hisoblanadi. Agar qoplamalar orasidagi havoni gaz alangasida qizdirsak yoki qoplamalar oralig'ini ultrabinafsha nurlari bilan yoritsak, ampermetr tok o'tayotganini ko'rsatadi. Kuchlanishni oshirib borish bilan tok kuchi ham orta boradi. Kuchlanishni esa reostat jilgichini o'ngga surish orqali oshirish mumkin.



11.1-rasm

Gazlarda tok o'tish hodisasiga **gaz razryadi** deyiladi. 11.1-a,rasmdagi keltirilgan gaz razryadini 11.1-b,rasmdagi keltirilgan volt-ampere xarakteristikasi bilan tushuntiramiz.

OA—kuchlanish oshib borishi bilan tok kuchi proporsional holda oshadigan oraliq. Kuchlanish qancha ko'p ohsa, shuncha ko'p ionlar qoplamalarga yetib boryapti. Bu oraliq kichik kuchlanishlarda kuzatiladi.

AB—tok ortishi sekinlashadi;

BC—tok oshishi to'xtaydi. Ionlantirgich orqali vaqt birligi ichida nechta ion hosil qilinsa, shu vaqt ichida hamma ionlar qoplamalarga yetib boryapti;

CD—tok oshishi yana kuzatiladi. Qoplamalar orasida elektronlarning ikki to'qnashuv orasida elektr maydonidan oladigan $W = e E \lambda$ energiyasi atom bilan to'qnashganda undan elektronni urib chiqarishga yetadi. Bu oraliqda ionlar atomlar bilan to'qnashganda undan elektron urib chiqara olmaydi. Chunki, ionlarning o'lchami elektron o'lchamidan ancha katta bo'lgani uchun ionlarning erkin yugurish yo'li elektronlarnikidan ancha kichik va bu erkin yugurish yo'lida oladigan energiyasi ham ancha kichik bo'ladi. Shu boisdan ham elektronlarning energiyasi neytral atomni ionlashtirishga yetarli bo'lgan vaqtda ionlarniki esa ionlashtirish energiyasidan ko'p marta kichik bo'ladi. Grafikning bu qismida tok kuchi yana oshishiga sabab ionlantirgichdan tashqari erkin elektronlar ham yo'l-yo'lakay qo'shimcha ionlashtirgich vazifasini bajaryapti. Shuning uchun ham bunday ionlanishni **zarbdan ionlanish** deb ataladi;

DE—tok oshishi yana to'xtaydi. Qoplamalar orasidagi hamma atomlar to'liq ionlangan bo'lib, ularning hammasi tok tashishda ishtirok etmoqda;

E—bu nuqtadan boshlab kuchlanish oshirilsa, tok oshishi yana kuzatiladi. Qoplamalar orasidagi barcha atomlar ionlangan bo'lsa tokning yana oshishi nima evaziga sodir bo'lmoqda degan savol tug'iladi. Bunda musbat ionlar erkin yugurish yo'lida shunday bir energiyaga erishadiki, ular katodga borib urilganda katod sirtidan elektronlarni urib chiqara oladi, ya'ni musbat ionlarning energiyasi chiqish ishiga tenglashadi. Katoddan elektronlarning bunday urib chiqarilish hodisasiga **ikkilamchi elektron emissiya** deyiladi. Bundan tashqari elektr maydoni juda ortib ketganda katoddagi elektronni sug'utib olish ham mumkin. Bunda hosil bo'lgan elektronlar **avtoelektronlar** deb ataladi.

Shunday qilib, gazlarda elektr toki musbat ionlar, manfiy ionlar hamda elektronlarning tartibli harakati tufayli sodir bo'ladi. Musbat ionlar harakatidan hosil

bo'lgan tok kuchi manfiy ionlar va elektronlar harakatidan hosil bo'lgan tok kuchlari yig'indisiga teng bo'ladi.

$$I_{\text{tot}} = I_{(-)} + I_{(-)} + I_{el}, \quad I_{(+)} = I_{(-)} + I_{el}$$

Ionlarning ikki to'qnashuv orasida bosib o'tgan masofasiga *erkin yugurish yo'li* deyiladi. Erkin yugurish yo'lida elektronlarning elektr maydoni tomonidan oladigan energiyasi quyidagicha bo'ladi.

$$W = e E \lambda$$

Nomustaqil va mustaqil razryadlar:

11.1-b, rasmdagi grafikning *OC* qismi nomustaqil razryad deyiladi. Chunki, bu oraliqda razryad faqat tashqi ionlantiruvchi ta'sir evaziga sodir bo'ladi. Tashqi ta'sir to'xtatilganda esa zanjirdan tok o'tishi ham to'xtaydi, ya'ni ampermetr nolni ko'rsatadi.

Faqat tashqi ionlantiruvchi ta'sir tufayli amalga oshadigan razryadga nomustaqil razryad deyiladi.

11.1-b, rasmdagi grafikning *CF* qismi mustaqil razryad deyiladi. Chunki, bu oraliqda qoplama oralig'ini ionlantiruvchi alanga o'chirilganda yoki yorituvchi ultrabinafsha nurlari bilan yoritilish to'xtatilganda ham zanjirdan tok o'tishi sodir bo'laveradi. Chunki, (-) qoplama etib kelgan (+) ionlar shu qadar energiyaga egaki, ular bimalol qoplama sirtidan elektronni urib chiqara oladi. Bu avtoelektronlar esa tashqi ta'sirsiz ham o'z erkin yugurish yo'lida energiya jamg'argan energiyasi hisobiga neytral molekullarni elektron, musbat va manfiy ionlarga aylantirib qo'shimcha tok hosil qiladi. Buni xuddi tog' boshidan tushayotgan qor ko'chkisiga o'xshatish mumkin. Hisob-kitoblarga ko'ra har bir avtoelektron (+) qoplama yetib kelguncha o'n minglab musbat va manfiy ionlar juftini hosil qilish mumkin ekan.

Tashqi ionlantiruvchi ta'sir to'xtatilganda ham sodir bo'ladigan razryadga mustaqil razryad deyiladi.

Mustaqil razryad ham o'z navbatida bir necha turlarga bo'linadi.

Mustaqil razryadning turlari:

1) **Toj razryad.** Atmosfera bosimida bir jinsli bo'lmagan kuchli elektr maydoni mavjud bo'lgan hollarda havoda kuzatiladi. Masalan, toj razryad qorong'u tunda yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyasi atrofida yoki qorong'ulashtirilgan xonada ham yuqori kuchlanishga ulangan simlar atrofida xuddi Quyosh tojiga o'xshash nurlanish kuzatiladi. Undan tashqari toj razryadi uchlik simlar atrofida, kema machталarining uchlarida, daraxtning uchlarida ham kuzatiladi. Toj razryad quyidagicha sodir bo'ladi: yuqori kuchlanishli sim atrofida hosil bo'lgan musbat ionlar manfiy sim tomonga harakatlanadi va undan elektronlarni uib chiqaradi, bu elektronlar ham o'z navbatida gaz molekullarini ionlashtiradi. Bu jarayonda nurlanish sodir bo'ladi.



11.2-rasm

Toj razryadi kuzatilishi uchun egrilik radiusi katta bo'lgan sim va sim uchlari bo'lishi yetarli. Bunda ikkinchi elektrod bo'lishi shart emas. Uning vazifasini Yer yoki Yerga ulangan istalgan simlar bajaradi. Toj razryad elektr maydoni 30 000 V/m ga yetganda kuzatiladi. Toj razryadi barqaror emas va o'tkazgich yaqinida turli vaqtlarda hosil

bo'ladigan juda ko'p mikrorazryadlardan tashkil topgan (11.2-rasm). Toj razryadidan sanoat gazlarini mayda zarrachalardan tozalovchi elektr filtr vositasida foydalaniladi.

2) Uchqunli razryad. Bu razryad ham toj razryad kabi barqaror bo'lmagan razryad xarakteriga ega. Agar toz razryadi faqat elekttrlangan o'tkazgichlar yaqinida ro'y bersa, uchqun razryad esa o'tkazgichlar orasidagi masofa katta bo'lganda ham ro'y berishi mumkin. Atmosfera bosimida elektrodlar orasidagi elektr maydoni juda kuchli ($E \sim 3000 \text{ kV/m}$) bo'lganda zarbdan ionlanish natijasida qiga vaqtli razryad – uchqun vujudga keladi (11.3-rasm).



11.3-rasm

Uchqunli razryad ravshan nurlanuvchi egri-bugri tarmoqlangan kanal ko'rinishida bo'lib, u orqali kuchi juda katta bo'lgan qisqa vaqli tok impulsi o'tadi. Chaqmoq (yashin) bunga misol bo'ladi. Katta chaqmoqlarda yashinning uzunligi 10 km gacha, kanalining diametri 40 sm gacha, tok kuchi esa 10 kA gacha yetishi mumkin. Bunda impuls

davomiyligi 10^{-4} s bo'ladi (11.4-rasm). Har qaysi chaqmoq bitta kanaldan ketma-ket keladigan bir nechta impulsdan iborat bo'ladi. Uchqun kanalidagi gazning temperaturasi juda yuqori – 10000 K gacha yetadi. Bunda gazning tezda kuchli qizishi bosimning keskin ortishiga va tovush to'lqinlarining paydo bo'lishiga olib keladi. Shuning uchun ham chaqmoq chaqqandan keyin momaqaldiroqning kuchli gumburlashi eshitiladi. Chaqmoq kanalida temperaturaning keskin ortishi ozon (O_3) gazining paydo bo'lishiga sharoit yaratadi.



11.4-rasm

3) Yoy razryad (elektr yoyi). Bu razryad turli gazlarda bosimi atmosfera bosimining o'nli ulushlaridan tortib to bir necha ming atmosferagacha bo'lgan bosimda ro'y beradi. Yoy razryadi gaz razryadlari ichida amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega bo'lgan razryaddir.

Elektr yoyini hosil qilish uchun ikkita ko'mir sterjen olib, ularga 40–50 I' kuchlanish beriladi va avval ularning uchlari bir-biriga tekkiziladi. Bunda ikkala sterjenning uchlari orasida birdaniga ko'zni qamashtirarli darajada ravshan nurlanish sodir bo'ladi. So'ng elektrodnlarni bir-biridan biroz uzoqlashtirilsa, ular orasida yoy shaklida kuchli yorug'lik beruvchi *elektr yoyi* deb ataluvchi mustaqil gaz razryadi hosil bo'ladi. Elektr yoyini birinchi bo'lib rus akademigi V.V.Petrov 1802-yilda kashf qilgan.

Yoy razryadida temperaturaning 2500–4000°C gacha ko'tarilishi metallurgiyada yoy razryadidan



11.5-rasm

issiqlik oladigan elektr pechlarida, metallarni payvand qilishda qo'llaniladi (11.5-rasm). Yoy razryadi juda kuchli yorug'lik manbaidir. Undan proyektorlarda, proyeksion apparatlarda va kino apparatlarida foydalaniladi.

4) Miltillama razryad. Bu razryad past bosimlarda, ya'ni bosim millimetr simob ustunining o'ndan bir, yuzdan bir ulushlarida hosil bo'ladi. Miltillama razryadni hosil qilish uchun ikki tomoniga elektrodlar kavsharlangan va havosi so'rib olingan shisha naycha olib, elektrodلarni kuchlanishi bir necha yuz voltli o'zgarmas tok manbaiga ulaymiz (11.6-rasm).



11.6-rasm

Naydagi havoning nurlanish xarakteri uning siyraklanish darajasiga bog'liq bo'ladi. Dastlab, elektrodlar oraida "ipsimon" gaz razryadi hosil bo'ladi, so'ngra nay ichidagi barcha havo qizg'ish rangda yorug'lik chiqaradi. Bunday miltillama razryad musbat ionlar katoddan urib chiqargan elektronلarning gaz molekularini zarb bilan ionlanish tufayli hosil bo'ladi. Naydagi gaz o'zgartirilganda nurlanishning rangi ham o'zgarar ekan. Masalan, argon ko'k rang, neon qizil rang, geliy esa sariq rangli nurlanish beradi.

Miltillama razryadda ionlar konsentrasiyasi, shuningdek neytral atomلar soni kam bo'lgani uchun gazda ajraladigan issiqlik miqdori uncha katta bo'lmaganligidan nurlanish sovuq nurlanishdan iborat bo'ladi. Miltillama razryaddan nurlanuvchi reklamalarda keng qo'llanadigan gaz-yorug'lik nayلarini yaratishda kunduzgi yorug'lik lampalarida ishlatiladi.

Plazma haqida tushuncha:

Barcha molekulari va atomلari yoki ko'pchilik qismi ionlangan gaz *plazma* deyiladi. Plazma – bu musbat ionlar, elektronlar va ionlanmagan molekula va atomلarning aralashmasidan iborat. Ionlanish darajasiga qarab kuchsiz ionlangan, o'rtacha ionlangan, to'la ionlangan plazmalar bo'ladi. Zaryadlangan zarralarning tezligiga qarab, past temperaturali va yuqori tmperaturali plazmalarga ajratiladi.

Past temperaturali yoki sovuq plazma deb temperaturasi $10^5 K$ dan oshmaydigan plazmaga aytiladi. Temperaturasi $10^5 K$ dan yuqori bo'lgan plazmalarga yuqori temperaturali yoki qaynoq plazmalar deyiladi. Gaz razryadli plazma odatda sovuq plazmaga to'g'ri keladi. Qaynoq plazmada molekularlar katta tezlikda harakatlanadi va ularni ionlantirish uchun kerakli energiyaga ega bo'ladi.

Plazmalar umumiy holda neytraldir. Plazmalarning elektr o'tkazuvchanligi keng oraliqda o'zgaruvchan. Issiq plazmaning elektr o'tkazuvchanligi metallarnikiga yaqin, kuchsiz ionlangan plazmaning o'tkazuvchanligi esa metallarnikidan o'n ming marta kichik bo'ladi. Yer atmosferasinning yuqori qatlami doimiy ionlantirgich (Quyoshdan keladigan ultrabinafsha, rentgen nurlari va boshqa zaryadli zarralar oqimi) ta'sirida kuchsiz ionlangan plazmani tashkil etadi va u qatlam ionosfera deb ataladi.

Plazma bilan kundalik hayotimizda ham duch kelib turamiz. Gulxan alangasi, reklama trubkalari, kunduzgi yorug'lik lampalari bularning hammasi kuchsiz sovuq plazmadir.



1. Gaz razryadi qanday hosil bo'ladi? Gazda tok qanday zarralarning harakatidan paydo bo'ladi?
2. Gaz uchun volt-ampere xarakteristikasini chizing va tushuntiring.
3. Erkin yugurish yo'li va bunda zaryadli zarra olgan energiyani yozing.
4. Mustaqil razryadlarning turlarining sanab bering va ularni tushuntiring.



II BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Elektroliz vaqtida biror kesim orqali 1 sekundda musbat ionlar 1,5 Kl, manfiy ionlar 2,5 Kl zaryad olib o'tgan. Tashqi zanjirdagi tok kuchi qanday (A)?

- A) 3,5 B) 4 C) 1 D) 1,5 E) 2,5

Berilgan:

$$t=1s$$

$$q_1=1,5Kl$$

$$q_2=2,5Kl$$

$$I=?$$

Yechilishi:

$$I = \frac{q_1 + q_2}{t} = 4A$$

$$I = 4A$$

Javob: B) 4.

2. Elektrolit eritmasidan 2 s davomida 5 A doimiy tok o'tib turdi. Katodga kelgan ionlar zaryadining umumiy miqdori necha kulon?

- A) 20 B) 10 C) 2,5 D) 0,4 E) 0

Berilgan:

$$t=2s$$

$$I=5A$$

$$q=?$$

Yechilishi:

$$q = It = 10 Kl$$

$$q = 10Kl$$

Javob: B)

3. $AgNO_3$ eritmasi to'latilgan vannadan 10 mA tok o'tmoqda. 1 s davomida katodda qancha kumush atomi ajraladi?

- A) $6,25 \cdot 10^{16}$ B) $8,3 \cdot 10^{16}$ C) 10^{17} D) $9 \cdot 10^{16}$

Berilgan:

$$I=0,01A$$

$$t=1s$$

$$n=1$$

$$m=?$$

Yechilishi:

$AgNO_3$ ning molyar massasi $m_k = 62 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$

$$\text{Bundan } m = kIt = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It = \frac{1}{96500} \frac{62 \cdot 10^{-3}}{1} 10^{-2} = 6,25 \cdot 10^{16} \text{ kg}$$

$$m = 6,25 \cdot 10^{16} \text{ kg}$$

Javob: A) $6,25 \cdot 10^{16}$.

4. Tuz eritmasidan o'tayotgan tok kuchi 4 marta ortganda katodda vaqt birligida ajraladigan modda massasi qanday o'zgaradi?

- A) 2 marta kamayadi. B) 2 marta ortad
C) 4 marta kamayadi. D) 4 marta ortad

Berilgan:

$$I_2 = 4I_1$$

$$\frac{m_{t1}}{m_{t2}}=?$$

$$\frac{m_{t1}}{m_{t2}}=?$$

Yechilishi:

$$m_{t1} = kI_1t \text{ va } m_{t2} = kI_2t \text{ dan } \frac{m_{t1}}{m_{t2}} = \frac{I_1}{I_2} = 1/4$$

Javob: 4marta ortadi

5. Toza yarimo'tkazgichdan elektronlarning tartibli harakati tufayli 1 mA tok o'tmoqda. Yarimo'tkazgichdan o'tayotgan to'la tok kuchi qanday (mA)?

- A) 0 B) 0,5 C) 1 D) 2 E) 3

Berilgan:

$$I_e = 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_T = ?$$

Yechilishi:

Toza yarim o'tkazgichda elektronlarning harakati tufayli hosil bo'lgan tok

$$I_e = 10^{-3} \text{ A. Bundan, to'la tok } I_T = I_e + I_{\text{teshik}} \text{ (bu erda } I_e = I_{\text{teshik}})$$

$$I_T = 2 I_e = 2 \text{ mA}$$

$$\text{Javob: } I_T = 2 \text{ mA}$$

6. Agar katoddan har sekunda $5 \cdot 10^{16}$ ta elektron ajralib chiqayotgan bo'lsa, anod zanjiridagi tok qanday (mA)?

A) 5

B) 8

C) 9

D) 10

E) 11

Berilgan:

$$N = 5 \cdot 10^{16}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

$$I = ?$$

Yechilishi:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t} = 8 \text{ mA}$$

$$I = 8 \text{ mA}$$

$$\text{Javob: B) 8.}$$

7. Televizor trubkasida anoddan ekrangacha bo'lgan masofani elektronlar 4 ns da o'tadi. Kineskopdagi tezlashtiruvchi kuchlanish necha kV? Anoddan ekrangacha bo'lgan masofa 30 sm. Boshlang'ich tezlik nol. $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$.

A) 1,6

B) 2

C) 3

D) 3,2

E) 16

Berilgan:

$$t = 4 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

$$S = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$u_0 = 0$$

$$m_A = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

$$U = ?$$

Yechilishi:

Bu yerda elektronlar tezlanish bilan harakatlanadi. $S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$ va

$$S = u_0 t + \frac{at^2}{2} \text{ dan } a = \frac{2S}{t^2} \quad v = \frac{2S}{t} \text{ bo'ladi, endi energiyaning saqlanish}$$

$$\text{qoninidan } \frac{mv^2}{2} = eU. \quad U = \frac{m_e 4S^2}{2et^2} = 16000 \text{ V} = 16 \text{ kV}$$

$$\text{Javob: E) 16.}$$



II BOBGA DOIR TESTLAR

1. Quyida bayon qilingan fikrlarning qaysilari noto'g'ri:

1) elektrolitlarda tok erkin elektronlar oqimidan iborat bo'ladi;

2) distillangan suv elektrolit emas;

3) turli ishorali zaryadlangan ionlarning birlashuvi natijasida zaryadsiz zarra hosil bo'lishi molizatsiya deyiladi;

4) ionlarga ajralgan molekularlar sonining erigan moddaning barcha molekularlari soniga nisbati dissosiyatsiya koeffitsienti deb ataladi;

5) elektr tokini o'tkazuvchi suyuqliklar elektrolitlar deb ataladi?

A) 1, 5

B) 2

C) 1

D) 3, 4

E) 2, 5

2. Temperatura ortishi bilan elektrolitlarning o'tkazuvchanligi qanday o'zgaradi?

A) ortadi

B) kamayadi

C) elektrolitning miqdoriga bog'liq

D) o'zgarmaydi

3. Agar kuchlanishni o'zgartirmasdan, vanna elektrodleri orasidagi masofani orttirsak, tok kuchi

qanday o'zgaradi?

- A) modda turiga qarab ortishi yoki kamayishi mumkin.
B) ortadi. C) kamayadi. D) o'zgarmaydi.

4. Elektroliz vaqtida ajralgan modda miqdori nimalarga bog'liq?
A) kuchlanishga B) tok kuchiga C) qarshilikka
D) elektrolitdan o'tgan zaryad miqdoriga E) vaqtga

5. CuSO_4 eritmasidan 0,3 s davomida 1000 A tok o'tsa katodda qancha mis ajralib chiqadi?
Misning elektrokimyoviy ekvivalenti $3,3 \cdot 10^{-7}$ kg/Kl.
A) 0,1g B) 0,1 kg C) 1 g D) 1 kg E) 3,3 t

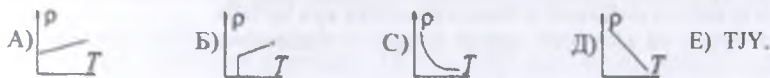
6. Ma'lumki, HCl eritmasini elektroliz qilganda, katodda vodorod, anodda xlor ajraladi.
Bunda ajralgan xlorning massasi vodorodnikidan necha marta katta bo'ladi?
Vodorodning molyar massasi 2 g/mol, xlorniki 36 g/mol.
A) 72. B) 36 C) 18 D) 9 E) 3

7. CuSO_4 va CuCl_2 eritmaları solingan vannalar ketma-ket ulanib, ulardan o'zgarmas tok o'tkazilgan. Bir xil vaqtda ikkala vannada ajralgan misning massalari (m_1 va m_2) ni solishtiring.
A) $m_1 = 2m_2$ B) $m_2 = 2m_1$ C) $m_1 = m_2$
D) $m_1 = 4m_2$ E) $m_2 = 4m_1$

8. Qarshilikning termik koeffitsienti qanday moddalar uchun manfiy?
A) elektrolitlar, yarimo'tkazgichlar. B) elektrolitlar, metallar.
C) metallar. D) dielektriklar. E) metallar, dielektriklar.

9. Temperatura ortishi bilan yarimo'tkazgichning qarshiligi ...
A) kamayadi B) o'zgarmaydi C) ortadi
D) avval ortadi, so'ngra kamayadi E) avval kamayadi, so'ng ortadi.

10. Quyidagi rasmlarda solishtirma qarshilikning temperaturaga bog'lanish grafiklari keltirilgan.
Qaysi grafik yarim o'tkazgichga tegishli?



11. Yarimo'tkazgichlarda elektr tokini qanday zarralar oqimi hosil qiladi? Eng to'la javobni ko'rsating.

- A) kovaklar B) elektronlar va kovaklar.
C) elektronlar va ionlar D) atomlar va elektronlar.
E) ionlar va kovaklar

12. Aralashmasiz yarim o'tkazgichlar qanday turdagi o'tkazuvchanlikka ega?

- A) elektr tokini o'tkazmaydilar.
B) teng miqdorda elektron va teshikli o'tkazuvchanlikka.
C) asosan teshikli o'tkazuvchanlikka.
D) asosan elektron o'tkazuvchanlikka.
E) TJY

13. Yarimo'tkazgichda teshik va elektron uchrashganda nima hosil bo'ladi?

- A) musbat ion. B) manfiy ion.
- C) neytral atom. D) musbat va manfiy ionlar.
- E) TJY

14. Yarimo'tkazgichda elektron va teshik uchrashganda qanday hodisa yuz beradi?

- A) energiya yutiladi B) musbat ion hosil bo'ladi.
- C) energiya ajraladi D) manfiy ion hosil bo'ladi.
- E) TJY

15. Yarimo'tkazgichlarda donor aralashmasi bo'lganda, ... ortadi. Jumladagi nuqtalar o'rmini to'ldiring.

- A) kovaklar soni. B) erkin pozitronlar soni.
- C) erkin protonlar soni D) erkin elektronlar soni.
- E) erkin neytronlar soni

16. Yarimo'tkazgichlarda akseptor aralashmasi bo'lganda, ... ortadi. Mazkur jumladagi nuqtalar o'rmini to'ldiring.

- A) erkin protonlar soni. B) erkin elektronlar soni.
- C) kovaklar soni. D) erkin pozitronlar soni.
- E) neytronlar soni.

17. Germaniyga aralashma sifatida fosfor qo'shsak, uning o'tkazuvchanligi qanday tur o'tkazuvchanlik bo'ladi? Fosforda valent elektronlar soni 5 ta.

- A) aralashma miqdoriga bog'liq B) p-turdagi
- C) n-turdagi D) xususiy E) haroratga bog'liq

18. Agar to'rt valentli germaniy ichiga uch valentli indiy atomlari million germaniy atomiga bir indiy atomi to'g'ri keladigan nisbatda kiritilsa, germaniyaning elektr o'tkazuvchanligi qanday o'zgaradi?

- A) dastlabki o'tkazuvchanlikning 10^{-6} qismiga ortadi.
- B) dastlabki o'tkazuvchanlikning 10^{-6} qismiga kamayadi.
- C) sezilarli ortadi va teshikli o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi.
- D) sezilarli ortadi va elektronli o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi.
- E) sezilarli ortadi va elektronli hamda teshikli o'tkazuvchanliklari taxminan teng bo'ladi.

19. Diod qanday vazifani bajaradi?

- A) elektr tebranishlar hosil qiladi.
- B) o'zgaruvchan tokni to'g'rilaydi.
- C) tok kuchini oshiradi. D) kuchlanishni kuchaytiradi.
- E) o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokga aylantiradi.

20. Tranzistor nimalardan tashkil topgan?

- A) emitter, baza va kollektordan B) katod va anoddan
- C) baza va emitterdan D) anod, katod va to'rdan
- E) emitter va kollektordan

21. Termoelektron emissiya nima?

- A) qizdirilgan qattiq jism sirtidan musbat ionlarning nurlanishi.
- B) qizdirilgan qattiq jism sirtidan elektronlarning nurlanishi.

- C) atomning elektron va ionga ajralishi.
- D) atomlarning elektronlarga parchalanishi.
- E) atom yadrosining parchalanishi.

22. Katoddan birlik vaqtda bug'lanib chiqayotgan elektronlar soni nimalarga bog'liq? Eng to'liq javobni belgilang.

- A) katod materialiga, haroratga.
- B) katod materialiga, kuchlamshga.
- C) haroratga, sirt o'lchamlariga, tok kuchiga.
- D) katod materialiga, sirt o'lchamlariga, haroratga.
- E) Anod materialiga, xaroratga.

23. Vakuumda elektr toki qanday zarrachalarning harakati tufayli vujudga keladi?

- A) protonlar B) ionlar C) vakuumda tok bo'lmaydi
- D) elektronlar E) ixtiyoriy zaryadlangan zarachalar.

24. Qaysi muhitlarda tokning issiqlik ta'siri kuzatilmaydi:

- 1) elektrolitlarda; 2) gazlarda; 3) metallarda;
- 4) vakuumda; 5) yarimo'tkazgichlarda?
- A) 4 B) 1; 4; 5 C) 3; 4 D) 1; 2 E) 5.

25. Qaysi asboblarda o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirishda asosiy element bo'ladi?

- 1) transformator; 2) yarimo'tkazgichli diod;
- 3) elektron lampa – diod; 4) tranzistor.
- A) 2,3 B) 2,4 C) 1,2 D) 1,2,3 E) 2,3,4



II BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Agar elektroliz vaqtida CuSO_4 eritmasidan 100 Kl elektr zaryad o'tgan bo'lsa, katodda necha gramm mis ajraladi? Misning elektrokimyoviy ekvivalenti 0,329 mg/C ga teng.
2. Tok kuchi 1 A bo'lganda, mis xlorid (CuCl_2) ning suvdagi eritmasidan elektroliz usuli bilan 2 soatda necha gramm mis olish mumkin? Misning elektrokimyoviy ekvivalenti 0,33 mg/Kl ga teng.
3. Nikel tuzi eritmasidan o'tayotgan 10 A tok 0,5 soat ichida necha gramm nikel ajratib chiqaradi? Nikelning elektrokimyoviy ekvivalenti 0,3 10-6 kg/Kl.
4. Buyumni nikellash 50 minut davom etib, buyumga 0,1 g nikel o'tirdi ($k_{\text{Ni}}=0,3 \cdot 10^{-6}\text{kg/C}$). Elektroliz vaqtidagi tok kuchi necha amper bo'lgan?
5. Sulfat kislotaning (H_2SO_4) suvdagi eritmasidan 16 Kl. zaryad o'tganda ajralib chiqadigan kislorod massasini aniqlang (mg). $N_A = 6 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$.
6. Mis kuporosi eritmasidan 10 A tok o'tganda, 0,5 minutda 0,1 g mis ajralib chiqdi. Misning elektrokimyoviy ekvivalenti qanday (kg/Kl)?
7. Kumushning elektrokimyoviy ekvivalentini bilgan holda ($k_{\text{Ag}} = 1,12 \text{ mg/C}$, oltinning elektrokimyoviy ekvivalentini (mg/C) toping. Kumush va oltinning nisbiy atom massalari mos ravishda taxminan 108 va 197 ga teng.
8. Xlorid kislotasi (HCl) ni elektroliz qilishda katodda 2 vodorod ajralib chiqqan vaqt ichida anodda necha gramm xlor ajralib chiqadi? Vodorodning elektrokimyoviy ekvivalenti $1 \cdot 10^{-8} \text{ kg/Kl}$, xlorniki esa $37 \cdot 10^{-8} \text{ kg/Kl}$.

9. Kumushning molyar massasi 108 g/mol, valentligi 1 va elektrokimyoviy ekvivalenti 1,08 10^{-6} kg/C. Oltinning molyar massasi 200g/mol. Valentligi 1 bo'lsa, elektrokimyoviy ekvivalenti qanday (kg/C)?
10. Elektrolit vannadan 2,5 A tok o'tganda 20 min davomid; 1017 mg ikki valentli metall ajralgan. Metalining massa soni A qanday?
11. Agar 10 kVt soat energiya sarflangan bo'lsa, elektroliz vaq tida ajralgan mis massasi qanday (kg) bo'ladi? Vanna klemmalandagi kuchlanish 10 V. Qurilmaning FIK 75% Misning elektrokimyoviy ekvivalenti $k=3,310^{-7}$ kg/Kl.
12. Sulfat kislotaning suvdagi eritmasi orqali 2 min davomida 1 A tok o'tkazildi. Bunda ajralib chiqqan vodorod hajmi qancha? Kislorodnikichi? Bu gazlar normal holatda turibdi deb hisoblansi.
13. 1000 kg alyuminiy olish uchun qancha energiya sarflash kerak? Pechka elektrodlaridagi kuchlanish 10 V, qurilmaning FIK 0,8 ga teng.
14. Kumushning elektroxiyaviy ekvivalentini hisoblab toping.
15. Mis sulfatning eritmasi elektroliz qilinganda 4 kVt-soat ish bahariladi. Agar vanna elektrosrlari orasidagi kuchlanish 6 V bo'lsa, ajralib chiqqan mis miqdorini aniqlang.
16. Detalni nikellash vaqtida 2 soat mobaybida elektrolitik vannadan 2 A tok o'tib turadi. Nikelning elektroxiyaviy ekvivalenti $3 \cdot 10^{-7}$ kg / Kl, zichligi $8,9 \cdot 10^3$ kg / m³. Detalning tashqi yuzi 0,4 m². Qoplamaning qalinligini aniqlang.
17. Agar $U_1 = 0,7V$ kuchlanishda dioddan o'tuvchi tok kuchi $I_1 = 5,5 mA$, $U_2 = -10 V$ kuchlanishda tok kuchi $I_2 = 0,8 \mu A$ bo'lsa, kremniyli dioddning o'zgarmas tok uchun to'g'ri va reskari yo'nalishdagi qarshiligini toping.
18. Tranzistorning emitter zanjiridagi tok kuchi $I_1 = 10 mA$. Baza zanjiridagi tok kuchi esa $I_2 = 500 \mu A$ ga teng. Kollektor zanjiridagi tok kuchini toping.
19. Umumiy bazali sxemada yig'ilgan kuchaytirgichda R_H rezistor 500 Om ga, qisqichlaridagi kuchlanish 4 V ga, baza zanjiridagi tok kuchi 200 μA ga teng. Emitter zanjiridagi tok kuchini aniqlang.
20. Televizorlarda elektron nurli trubkaning anod va katod orasidagi kuchlanish 10 kV ga, anod zanjiridagi tok kuch esa 300 μA ga teng. Elektronlarning energiyasini va elektronlar dastasining quvvatini aniqlang. Ekranga 1 s vaqt ichida nechta elektron yetib keladi?
21. Detallarni elektron usulida payvandlash uchun energiyasi 100 keV va quvvati $10^7 Vt$ bo'lgan elektronlar dastasi ishlatiladi. Dasta ko'ndalang yuzasidan 1 s vaqtda o'tadigan elektronlar sonini aniqlang.
22. Elektronlar oqimi elektrn nurli trubkada 5 kV kuchlanishli maydonda tezlashtiriladi va so'ngra og'diruvchi plastinalar orasiga uchib kiradi. Agar og'diruvchi plastinalar uzunligi 5 sm, orasidagi masofa 2 sm bo'lsa, numi 5mm ga og'dirish uchun og'diruvchi plastinalarga qanday potsillar farqi qo'yish kerak bo'ladi?

Oddiy magnit hodisalar bizning eramizdan ilgari ham ma'lum bo'lgan. Lekin, elektr toki va magnit hodisalar orasida bog'lanish borligi haqidagi dalillar XVIII asrga tegishlidir. Fransuz fizigi Arago o'zining "Momoqaldiraq va yashin" degan kitobida yashin urgan kemadagi kompaslarning ishdan chiqqanligini va yashin tushgan uydagi po'latdan yasalgan pichoq, sanchiq, qoshiq kabi buyumlarning magnitlanib qolgani haqida yozgan.

Oldingi bobda elektr maydoni elektr zaryadlari tomonidan hosil qilinishi bilan, ya'ni elektr maydonini manbasi elektr zaryadlari ekanligi bilan tanishgan edik. Bu bob magnit hodisalariga bag'ishlanar ekan, oldingi bobdagi kabi magnit maydoni ham magnit zaryadlari tomonidan hosil qilinadi degan aniq javobni berishimiz aniq. Lekin, kuzatish va tajribalar hamda zamonaviy hisob-kitoblar tabiatda elektr zaryadlariga o'xshash "magnit zaryadlari" yo'qligini ko'rsatdi. "Unda magnit maydonini manbasi nima?" degan savol bizni qiziqtirib qo'yadi.

Ushbu bobda biz magnit maydonini hosil qiluvchi manbalar, magnit hodisalari, moddalarning magnit xususiyatlari, elektromagnit induksiya hodisasi, elektromagnit induksiya qonuni hamda o'zgaruvchan tok qanday olinishi haqida tanishamiz.



§ 12. MAGNIT HODISALAR. MAGNIT MAYDONNING MAVJUDLIGINI ISBOTLOVCHI TAJRIBALAR

Ersted tajribasi:

Elektr tokining magnit ta'siri 1820 yilda Daniyalik fizik Ersted tomonidan tajriba yo'li bilan aniqlandi va o'rganildi. Erstedning bu yangiligi fizika fanining rivojiga eng katta turtkilardan biri bo'ldi. Bu esa o'z navbatida keyinchalik Bio, Savar, Laplas, Amper, Faradey, Maksvell kabi olimlarning elektromagnetizm ustida ish olib borib uni rivojlanishiga sababchi bo'ldi. Erstedning qanday tajriba o'tkazgani bilan tanishaylik.



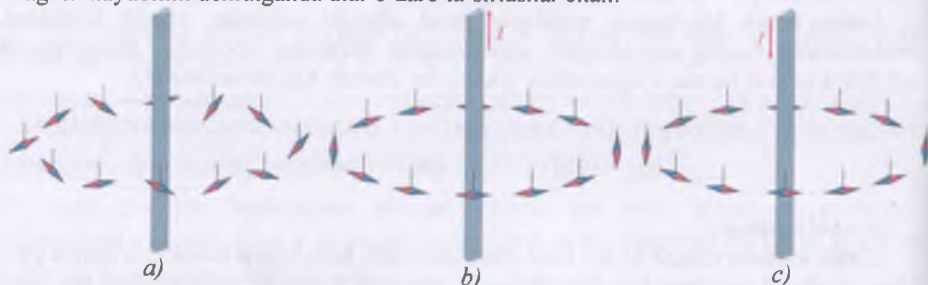
12.1-rasm

Ersted magnit strelkani tokli o'tkazgich yaqiniga olib keldi va ularning o'zaro ta'sirini o'rgandi. Dastlab o'tkazgichdan tok o'tmayotganda, magnit strelka befarq bo'ladi, ya'ni strelkani qaysi holatga keltirilsa o'sha vaziyatda turadi (12.1-a, rasm). O'tkazgich orqali tok o'tkazilganda esa magnit strelka qat'iy bir holatni egallaydi. Magnit strelkani vaziyatini o'zgartirmoqchi bo'lganda yana avvalgi holatiga qaytadi (12.1-b, rasm). Endi o'tkazgichdan o'tayotgan tok yo'nalishini qarama-qarshi tomonga o'zgartirilsa, magnit strelka 180° burchakka burilib qutblari o'rni almashinib qoladi. Natijada, yangi qat'iy vaziyat qaror topadi (12.1-c, rasm).

Tokli o'tkazgich vertikal holatda joylashtirilib, bu simdan teng masofalarda parallel iplarga magnit strelkalar osib qo'yilgan bo'lsin. Dastlab, o'tkazgichdan tok o'tmayotganda, magnit strelkalar befarq bo'lib ularni joylashuvida biror tartib bo'lmaydi

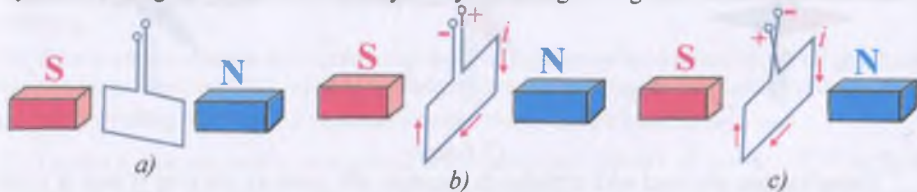
(12.2-a,rasm). O'tkazgich orqali tok o'tkazilganda esa magnit strelkalar qat'iy bir holatni egallab, ular aylana hosil qiladi. Magnit strelkalarni vaziyatini o'zgartirmoqchi bo'lganda yana avvalgi holatiga qaytadi (12.2-b, rasm). Endi o'tkazgichdan o'tayotgan tok yo'nalishini qarama-qarshi tomonga o'zgartirilsa, magnit strelkalar ham 180° burchakka burilib qutblari o'rni almashinib qoladi. Bunda yangi qat'iy vaziyat qaror topadi va ular yana aylana hosil qiladi (12.2-c,rasm).

Ersted tajribasidan ko'rinadiki, magnit strelkalar tokli o'tazgichda tok bo'lgandagina u bilan ta'sirlashar ekan. Boshqacha aytganda, magnit strelkalar tokning hosil qilgan magnit maydoni bilan ta'sirlashdi. Endi Ersted tajribalaridagi tokli magnit strelkalar o'rni boshqa strelkalar – temir yoki alyuminiy yoki rezina strelkalar joylashtirilsa, o'tkazgichdagi tokning qiymati qanchalik katta bo'lmasin ular o'zaro ta'sirlashmaydilar. Bundan magnit strelkaning ham o'z atrofida xususiy magnit maydoni bor degan xulosa kelib chiqadi. Demak, magnit strelka o'zi hosil qilgan magnit maydoni bilan tokli o'tkazgich hosil qilgan maydonga ta'sir ko'rsatar ekan, ya'ni magnit maydoni boshqa bir magnit maydonini uchratganda ular o'zaro ta'sirlashar ekan.



12.2-rasm

Ersted tajribasi olimlarni elektr toki o'tib turgan o'tkazgich atrofida magnit maydon hosil bo'ladi degan xulosaga olib keldi. Xuddi shu maydon magnit strelkasiga ta'sir etib uni joylashuv vaziyatini o'zgartiradi. Boshqacha aytganda, tokli o'tkazgich erkin aylanuvchi magnit strelkalarni o'z maydoni yo'nalishiga tushguncha buradi.



12.3-rasm

Biz 12.1- va 12.2- rasmlarda tokli o'tkazgich qo'zg'almas bo'lib, magnit strelkalar erkin turgan holni ko'rdik. Agar kattaroq qo'zg'almas magnittosh olib uning qutblari orasiga erkin aylanuvchi tokli sim ramka joylashtirsak nima bo'ladi?

– Dastlab sim ramkadan tok o'tmayotganda, sim ramka befarq bo'ladi, qaysi holatga keltirsak shu hvaziyatda tinch turadi (12.3-a,rasm). O'tkazgich orqali tok o'tkazilganda esa sim ramka qutblar orasida magnit chiziqlariga tik bo'lgan qat'iy bir holatni egallaydi. Sim ramkanini vaziyatini o'zgartirmoqchi bo'lganda yana avvalgi holatiga qaytaveradi (12.3-b, rasm). Endi o'tkazgichdan o'tayotgan tok yo'nalishini qarama-qarshi tomonga

o'zgartirilsa, sim ramka ham 180° burchakka burilib qoladi. Natijada yangi qat'iy vaziyat qaror topadi (12.3-c,rasm).

Demak, yuqoridagi barcha tajribalardan shunday xulosa kelib chiqadi: tokli o'tkazgich va magnit strelka yoki magnittosh biri-birining maydoniga tushishga intilar ekan. Magnit strelka erkin bo'lganda u burilib tokli o'tkazgichning maydoni ko'rsatadi. Sim ramka erkin bo'lganda esa, u burilib magnittoshning maydonini ko'rsatadi.

Faqatgina o'tkazgichdan tok o'tgandagina uning atrofida magnit maydon paydo bo'lishi magnit maydonning manbasi – bu elektr toki (harakatlanayotgan elektr zaryadi) ekan degan xulosaga olib keladi. Shunday qilib, Ersted kashfiyoti fizika fanining rivojlanishida katta turtkildan biri bo'lib, bu kashfiyot keyinchalik elektromagnetizm sohasida muhim kashfiyotlarni ochilishiga poydevor bo'ldi.

Toklarning va magnit sterjenning magnit chiziqlari:

Tokli o'tkazgich magnit maydon hosil qilar ekan, uni qanday ko'rinishda ekanligini tajribada tekshirib ko'rish mumkinmi? – Albatta mumkin.

Karton qog'oz olib uni gorizontol holatda tutamiz. Bu karton qog'ozni vertikal holatda teshib o'tuvchi to'g'ri tokli o'tkazgichni joylashtiramiz. Karton qog'oz ustiga mayda temir qirindi (qipiq)ni to'kamiz. Temir qipiqdari o'tkazgichdan tok o'tmaganda hech qanday biror shakl yasamaydi. O'tkazgichdan tok o'tkazilganda esa 12.4-a,rasmda ko'rsatilgani kabi koaksial (o'qdosh) aylanalar shaklini yasaydi. Chunki, bu aylanalarni ketma-ket tutashtirib chiqilsa, koaksial aylanalar hosil bo'ladi. Demak, to'g'ri tokning magnit maydoni markazi tokli o'tkazgichda bo'lgan koaksial aylanalardan iborat ekan (12.4-b,rasm). 12.1-rasm hamda 12.2-rasmdagi Ersted tajribasida ham erkin aylanuvchi magnit strelkalar xuddi shunday to'g'ri tok atrofida koaksial maydonni hosil qilgan edi.



a)



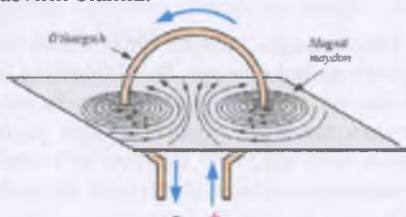
b)

12.4-rasm

Aylanma tokning yo'nalishini ham temir qipiqdari orqali aniqlash mumkin. Karton qog'ozni teshib undan aylanma o'tkazgichni o'tkazamiz va qog'oz ustiga temir qipiqdarini sepamiz. O'tkazgichdan tok o'tkazilganda 12.5-a,rasmdagi manzara hosil bo'ladi. Ularni tutashtirib chiqish natijasida 12.5-b,rasmdagi tasvirni olamiz.



a)



b)

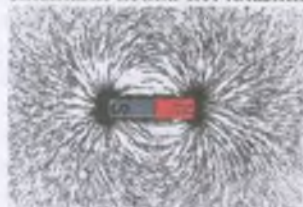
12.5-rasm

Magnittosh yoki magnit sterjenlar tabiiy magnit manbai bo'lib, ular tog' jinslari tarkibida qotishma holda uchraydi. Bu qotishmalardan maqsadimizga qarab biror shakl berilib yasaladi. Magnittoshlar xalqasmion, tangasmion, slindrik, prizmatik sterjen shaklida, magnit strelka shaklida yoki taqasimon shakllarda tayyorlanadi (12.6-rasm). Ulardan ba'zilarining maydoni qanday shaklda bo'lishini tekshirib ko'raylik.

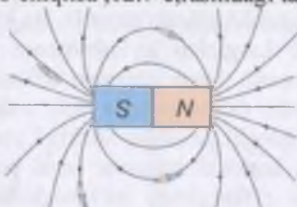


12.6-rasm

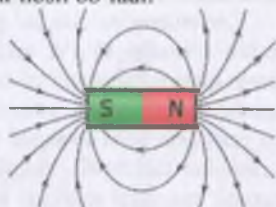
Temir qipqlari bilan o'tkazilgan tajriba natijasida 12.7-a, rasmdagi tasvirga ega bo'lamiz. Agar magnit sterjenning yaqin nuqtalariga erkin aylanuvchi kichkina magnit strelkachalar joylab chiqsak, ular 12.7-b, rasmdagi holatni egallaydilar. 12.7-a, b, rasmdagi shakllarni ketma-ket tutashtirib chiqilsa, 12.7-c, rasmdagi tasvir hosil bo'ladi.



a)



b)



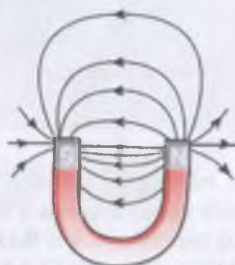
c)

12.7-rasm

Endi taqasimon magnitning maydonini temir qipqlari yordamida tekshirib ko'raylik. Taqasimon magnitni karton qog'oz ustiga qo'yib, uning atrofiga temir qipqlarini sochganimizda bu qipqlar 12.8-a, rasmdagi shaklni hosil qiladi. Agar bu shakllarni ketma-ket tutashtirib chiqilsa, 12.8-b, rasmdagi tasvirga ega bo'lamiz.



a)

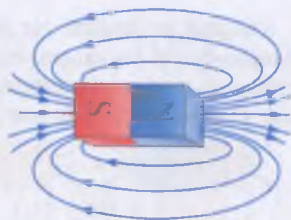


b)

12.8-rasm

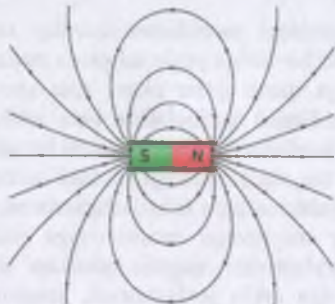
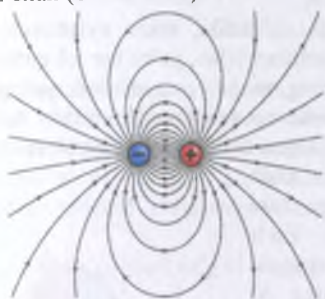
Tabiiy magnit manba (magnittosh yoki magnit sterjen) larini ikkita qutb bilan belgilash qabul qilingan. Bu qutblarning birini shartli ravishda N bilan, ikkinchisini esa S bilan belgilanadi. Erkin aylanuvchi magnit strelka Yerning magnit maydoni ta'sirida taxminan meridian chizig'i bo'ylab joylashadi. Strelkaning bir uchi shimol tomonni ikkinchi uchi esa janub tomonni ko'rsatadigan vaziyatni egallaydi. Strelkaning shimolni ko'rsatadigan uchini shimoliy qutb deyiladi va N (N - North - shimol) harfi bilan belgilanadi. Strelkaning janubni ko'rsatadigan uchini janubiy qutb deyiladi va S (S - South - janub) harfi bilan belgilanadi. Odatda N qutbni ko'k rangda (shimol sovuq bo'lgani uchun

muzning rangida), *S* qutbni esa qizil rangda (janub issiq bo'lgani uchun Quyoshning rangida) bo'yaladi. Magnit kuch chiziqlari magnittosh ichida shimoliy qutbdan janubiy qutbga, magnittosh tashqarisida esa shimoliy qutbdan janubiy qutbga yo'naladi, ya'ni magnit kuch chiziqlari har doim berk, uyurmaviy bo'ladi. Boshqacha aytganda magnit kuch chiziqlarining boshi va oxiri bo'lmaydi (12.9-rasm).



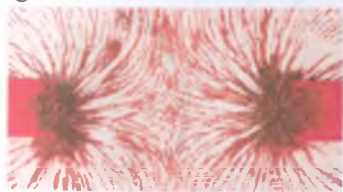
12.9-rasm

12.9-rasmdan ko'rinadiki, magnit sterjenning magnit maydonini xuddi miqdoran teng va qarama-qarshi ishorali elektr zaryadlarining elektr maydoni shakliga o'xshatish mumkin ekan (12.10-rasm).



12.10-rasm

Endi tajribamizni davom ettirgan holda ikkita magnit sterjen olib, ularni bir xil qutbi bilan yoki har xil qutbi bilan joylashtirganda ular atrofidagi magnit maydoni qanday ko'rinishda bo'lishini tekshirib ko'ramiz. Buning uchun har doimgidek temir qipqlari va karton qog'ozdan foydalanamiz. 12.11-a,rasmda magnilar bir xil qutblari bilan turgandagi, 12.11-b,rasmda esa har xil qutblari bilan turgandagi temir qipqlari hosil qilgan shakllar berilgan.



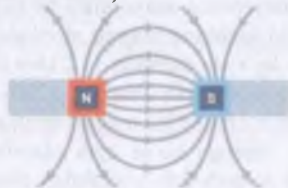
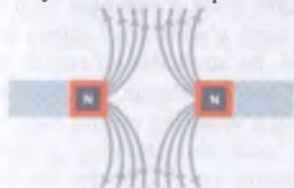
a)



b)

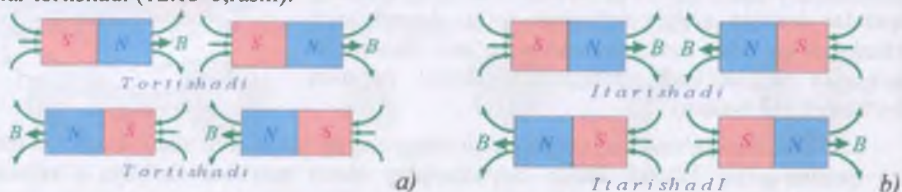
12.11-rasm

Yuqoridgi rasmda temir qipqlari hosil qilgan shakllarni ketma-ket tutashtirishdan uning magnit maydon kuch chiziqlari hosil bo'ladi (12.12-rasm).



12.12-rasm

Magnit sterjenlarni bir xil qublari bilan yaqinlashtirganda ularning magnit chiziqlari qarama-qarshi yo'nalgani bois ular itarishadi (12.13-a,rasm). Magnit sterjenlarni har xil qublari bilan yaqinlashtirganda ularning magnit chiziqlari yo'nalishdosh bo'lgani uchun ular tortishadi (12.13-b,rasm).



12.13-rasm

Yuqoridagi rasmlardan shunday xulosa kelib chiqadiki, erkin aylanuvchi magnit strelkalar bir-biriga yaqin turganda tortishadigan qutblari bilan, ya'ni har xil qutblari bilan bir-biriga qarab qolar ekan. Ana shunda ularning magnit maydonlari yo'nalishdosh bo'ladi. Ersted tajribalarida ham tokli o'tkazgichning maydonidagi erkin aylanuvchi magnit strelkalar tokning maydoni bo'yicha tartiblangan edi. Demak, magnit va magnit, magnit va tokli o'tkazgich, tokli o'tkazgich va tokli o'tkazgichlar o'zaro ta'sirlashganda mumkin qadar bir-birining maydoniga moslashishga intilar ekan. Endi erkin aylanuvchi magnit strelkani Yerning magnit maydoniga erkin joylashtirsak, magnit strelkaning *N* qutbi shimolga qarab qoladi, ya'ni shimolni ko'rsatadi. Lekin, strelkaning bu *N* qutbini shimol tomondan Yerning janubiy *S* qutbi o'ziga tortib, strelkani o'z yo'nalishiga rostlagan. Shunday qilib, magnit strelka geografik shimolni ko'rsatgan paytda, aslida u janubiy magnit qutbni ko'rsatgan bo'lar ekan. 12.14-rasmda Yerning magnit maydoni tasvirlangan.



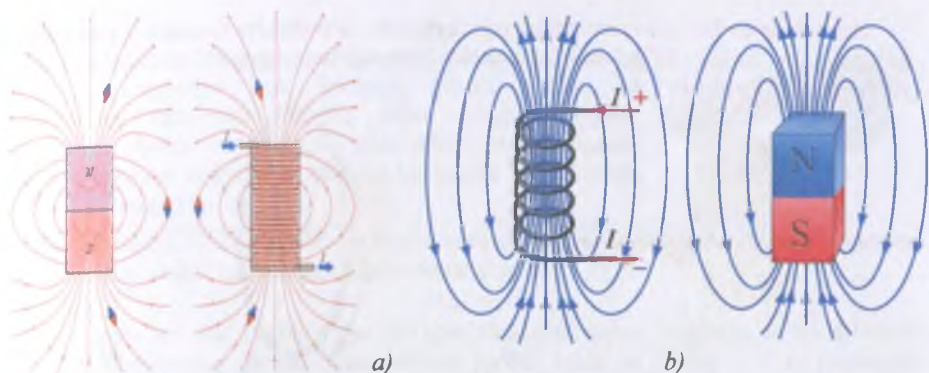
12.14-rasm

Biz yuqorida 12.5-rasmda aylanma tokning magnit maydonini tekshirgan edik. Endi g'altakning magnit maydonini tekshirib ko'raylik. Avvalo g'altak (yoki solenoid) deb jips qilib o'ralgan o'tkazgich sim o'ramlaridan iborat to'plamga aytilishini eslatib o'tamiz (12-15-rasm). Shunga ko'ra aylanma toklarning yig'indisi g'altakni tashkil qilar ekan, tokli g'altak hosil



12.15-rasm

qilgan magnit maydoni ham aylanma tokning maydoni bilan bir xil bo'lish kerak degan xulosa kelib chiqadi. Buni tajriba yordamida tekshirib ko'rish mumkin. 12.7-rasmda magnit sterjenning maydonini tekshirganimiz kabi, tokli g'altakning ham atrofiga erkin aylanuvchi kichkina magnit strelkalar qo'yish orqali g'altak hosil qilgan maydonni ham tekshirib ko'rish mumkin (12.16-a,rasm). Keyin bu strelkalar ko'rsatish yo'nalishlarini ketma-ket tutashtirib chiqilsa, 12.16-b,rasmdagi tasviri olamiz. Bu rasmlardan shunday xulosa kelib chiqadiki, magnit strelka hamda tokli g'altakning magnit maydonlari ayni bir xil ekan. Shunga ko'ra ayta olamizki, magnit kuch chiziqlarining g'altakka kiradigan tomonini *N* qutb deb, g'altakdan chiqadigan tomonini esa *S* qutb deb belgilash mumkin.



12.16-rasm

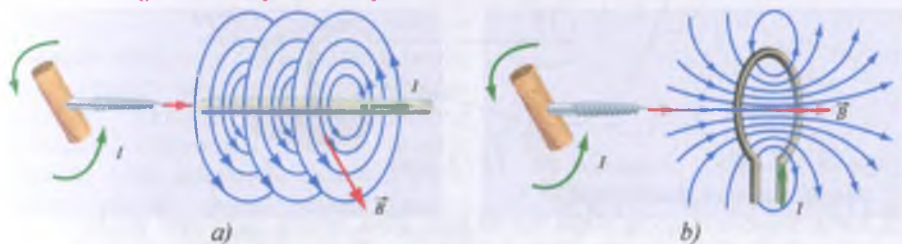
O'ng parma va o'ng qo'l qoidasi:

Ersted tajribasi va mayda temir qipqlari bilan o'tkazilgan tajribalar tokli o'tkazgichning magnit maydoni koaksial aylanalardan iborat ekanligini ko'rsatadi. Lekin, bu aylanalar yo'nalishi qaysi yo'nalishda ekanligi noma'lumligicha qoldi. Magnit maydon yo'nalishini xalqaro kelishuvga asosan o'ng parma qoidasiga ko'ra aniqlash qa'bul qilingan.

O'ng parma qoidasi to'g'ri va aylanma toklar uchun quyidagicha ta'riflanadi(12.17-rasm):

Agar o'ng parmaning ilgariylanma harakati yo'nalishi o'tkazgichdagi to'g'ri tok yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, u holda parma dastasining aylanish yo'nalishi magnit induksiya vektorining yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

Agar tokli o'tkazgich aylanma tok bo'lsa va tokning aylanish yo'nalishi bilan o'ng parmaning aylanish yo'nalishi bir xil bo'lsa, u holda parmaning ilgariylanma harakat yo'nalishi magnit induksiya vektori yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.



12.17-rasm

Lekin, ko'pchilik g'arb davlatlarida tokning magnit maydoni yo'nalishi o'ng parma qoidasi bilan emas, balki o'ng qo'l qoidasi bilan tushuntiriladi.

O'ng qo'l qoidasi to'g'ri va aylanma toklar uchun quyidagicha ta'riflanadi (12.18-rasm):

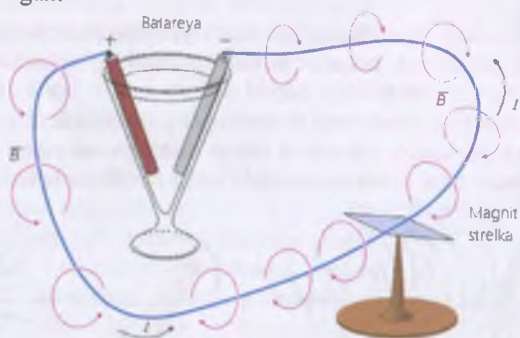
Agar o'ng qo'limizning 90°ga kerilgan bosh barmog'i to'g'ri tok yo'nalishini ko'rsatsa, u holda parma dastasining aylanish yo'nalishi magnit induksiya vektorining yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

Agar o'ng qo'limizning to'rt barmog'i aylanish yo'nalishi aylanma tok yo'nalishini ko'rsatsa, u holda 90° ga kerilgan bosh barmog'imiz magnit induksiya vektori yo'nalishini ko'rsatadi.



12.18-rasm

Aslini olganda aylanma tokning magnit maydon yo'nalishi to'g'ri tokning maydon yo'nalishidan kelib chiqadigan bir xususiy holdir. Umuman olganda esa tokli sim ixtiyoriy egri chiziq shaklida bo'lsa ham uni juda ko'p sondagi to'g'ri toklar (tok elementlari) yig'indisi deb tasavvur qilishimiz mumkin. Ana shu elementar toklar hosil qilgan maydonlar qo'shilishi natijasida ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichning natijaviy magnit maydonini hosil qilish mumkin, shuningdek aylanma tokning ham. 12.19-rasmda ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichning magnit maydoni elementar to'g'ri toklar maydoni ko'rinishida tasvirlangan.



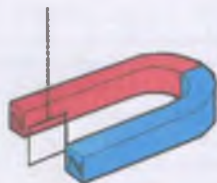
12.19-rasm

Magnit maydon induksiyasi:

Elektr maydonini qo'zg'almas zaryad hosil qilsa, magnit maydonini esa harakatdagi zaryad hosil qiladi. Boshqacha aytganda, elektr maydoni siljiganda magnit maydoni hosil bo'ladi. Elektr maydonidan farqli ravishda magnit maydoni berk maydondir, ya'ni magnit maydonining na oxiri va na boshi bor. Magnit maydonining miqdoriy xarakteristikasi sifatida, magnit induksiya deb ataladigan kattalikdan foydalaniladi. Elektr maydonini tekshirayotganda sinov zaryadidan foydalangan bo'lsak, magnit maydonni o'rganayotganda esa tokli berk kontur (simli ramka) dan, ya'ni sinov konturidan foydalanamiz.

Yuzi S bo'lgan va I tok o'tayotgan tokli ramkani doimiy magnit qutblari orasiga joylashtiraylik (12.20-rasm). Doimiy magnit va tokli ramkaning magnit maydonlari

ta'sirlashib, ramkani vertikal o'q atrofida buruvchi moment hosil qiladi. Tajribalarning ko'rsatishicha bu burovchi moment ramkadan o'tayotgan tok kuchiga, ramka yuziga va maydonning kattaligiga bog'liq ekan. Magnit maydon yo'nalishi ramka tekisligiga perpendikulyar bo'lganda burovchi moment nolga teng, parallel bo'lganda esa burovchi moment maksimal bo'lar ekan.



12.20-rasm

Tokli ramkaga ta'sir qiluvchi burovchi momentning maksimal qiymati ramka yuzi va ramkadan o'tayotgan tok kuchiga proporsional ekan.

$$M_{\text{max}} \sim I \cdot S$$

Turli yuza va tok kuchiga ega bo'lgan ramkalar uchun ramkaga ta'sir qiluvchi burovchi momentning qiymati ham turlicha bo'lib, lekin M_{max} ning $I \cdot S$ ko'paytmaga nisbati tokli ramka kiritilgan nuqta uchun o'zgarmas kattalik ekan. Bu nisbat tashqi magnit maydonni kuch jihatdan xarakterlab, tokli ramka kiritilgan nuqtadagi magnit maydonining induksiyasi deyiladi.

$$B = \frac{M_{\text{max}}}{I \cdot S}$$

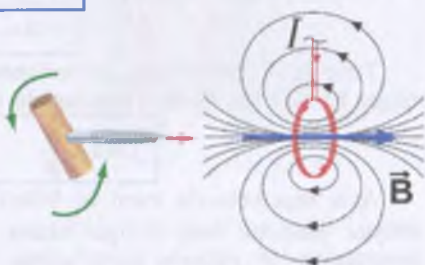
Maydonning biror nuqtadagi magnit induksiyasi shu nuqtada induksiya chiziqlariga parallel joylashtirilgan birlik yuzaga ega bo'lgan berk konturdan birlik tok kuchi o'tganda hosil bo'ladigan burovchi momentga miqdor jihatidan teng bo'ladi.

Magnit induksiyasining o'lchov birligi 1 T (Tesla) bo'lib unga quyidagicha ta'rif beriladi:

Bir jinsli magnit maydoniga 1 m^2 yuzaga ega bo'lgan va 1 A tok o'tayotgan sim ramka kiritilganda, bu ramkaga maydon tomonidan $1\text{ N} \cdot \text{m}$ maksmlal burovchi moment ta'sir qilsa, bu maydonning induksiyasi 1 T ga teng bo'ladi.

$$\frac{1\text{ N} \cdot \text{m}}{1\text{ A} \cdot 1\text{ m}^2} = 1\text{ T}$$

Magnit induksiyasi vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi maydonning tekshirilayotgan nuqtasiga kiritilgan tokli ramkaning muvozonat vaziyatidagi musbat normali yo'nalishi bilan aniqlanadi. Eslatib o'tamiz, musbat normal degani ramka yuziga perpendikulyar joylashgan o'ng parma dastasini ramkadagi aylanma tok yo'nalishida burash natijasida parma erishgan ilgarilanma harakat yo'nalishidir (12.21-rasm).



12.21-rasm

Magnit maydonlarni qo'shishning superpozitsiyasi:

Magnit induksiya vektori miqdor va yo'nalishga ega bo'lgan vektor kattalikdir. Shuning uchun bir nechta magnit induksiya vektorlarini qo'shish uchun ularni yo'nalishini ham e'tiborga olish kerak bo'ladi.

Kelib chiqishi Serbiyalik bo'lgan Serbiyalik bo'lgan muxandis-fizik, elektrotexnika va radiotexnika sohasida ko'pdab kashfiyotlar qilgan olim Nikola Tesla 1856-yil 10-iyulda Xorvatiya yaqinidagi Smilyan shaharchasida tug'ilgan. O'zi Avstriya imperiyasida dunyoga kelib, Avstriya-Vengriyada balog'atga etgan va 1891-yil AQSH fuqaroligini oladi va hayotining so'ngigacha shu erda yashaydi. Sanoat inqilobida ikkinchi bosqichga o'tishga imkon beradigan o'zgaruvchan tokda ishlaydigan ko'p fazali sistemalar, sinxron va asinxron dvigatellarini yaratilishi o'z hissasi bilan keng ommaga ma'lumdır. Tesla efir muhiti mavjudligi tarafdori sifatida ham mashhur. Hozirda magnit induktsiyasining o'lchov birligi uning nomi bilan Tesla deb nomlanadi. U yuqori chastotali transformatorni kashf qilgan. SHuningdek, 700Gs dan yuqori chastotali toklar jismlar sirtidan oqishini ixtiro qilgan. 1945-yil 7-yanvarda Nyu-Yorkda vafot etadi.



Nikola Tesla
(1856–1945)

Agar magnit maydonini bir necha tokli o'tkazgichlar va doimiy magnitlar hosil qilayotgan bo'lsa, fazoning biror nuqtasidagi natijaviy magnit induksiya vektorini topish uchun shu nuqtada har bir tokli o'tkazgich va doimiy magnitlar hosil qilgan maydon induksiya vektorlari geometrik qo'shiladi. **Maydonlarni qo'shishning bunday usuli maydonlar superpozitsiya prinsipi deyiladi.**

$$\vec{B}_{nat} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n$$

Barcha maydon kuchlanganliklari qo'shib, bitta natijaviy maydon kuchlanganlik vektori hosil qilinadi va buni teng ta'sir etuvchi vektor deyiladi. Qo'shib chiqilgan maydonlarni esa tashkil etuvchilar yoki komponentalar deyiladi.

Maydonlar qo'shilganda ularning o'qlardagi proektsiyalari ham qo'shiladi.

$$\begin{cases} B_x = B_{1x} + B_{2x} + B_{3x} + \dots + B_{nx} \\ B_y = B_{1y} + B_{2y} + B_{3y} + \dots + B_{ny} \\ B_z = B_{1z} + B_{2z} + B_{3z} + \dots + B_{nz} \end{cases}$$

Teng ta'sir etuvchi proektsiyalar orqali quyidagicha bog'langan:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

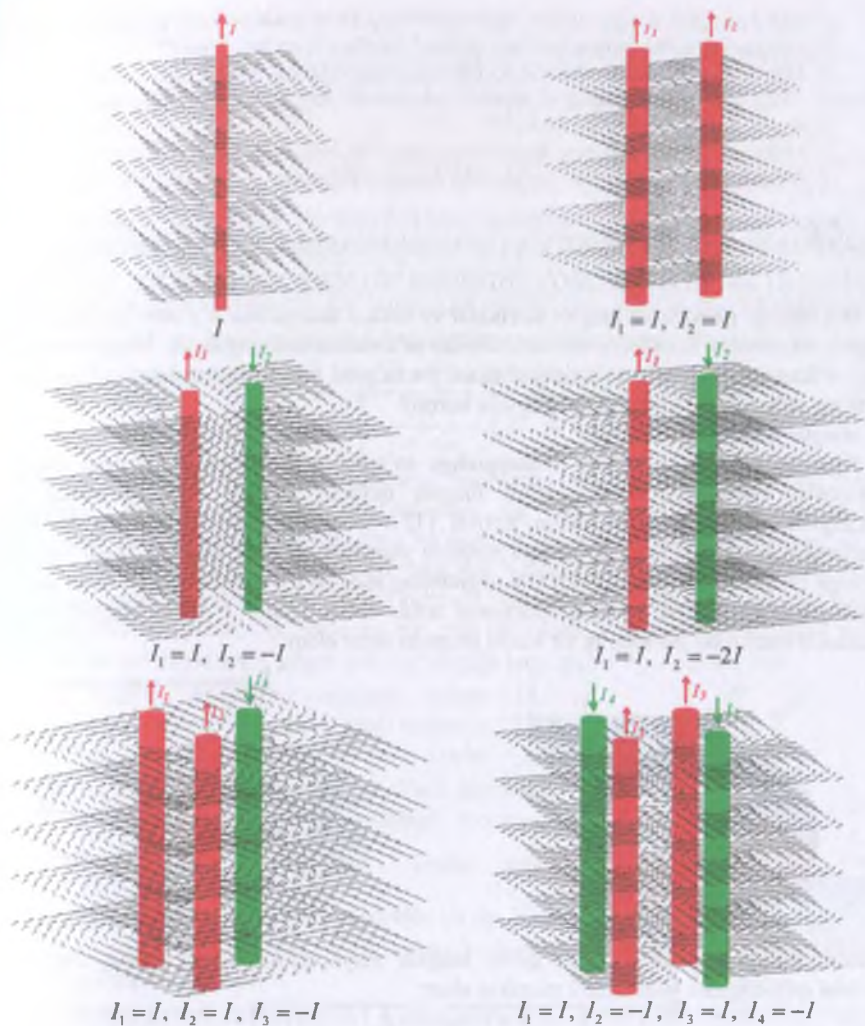
Teng ta'sir etuvchining yo'naltiruvchi kosinuslari (koordinata o'qlari bilan hosil qilgan burchak kosinuslari) quyidagicha bo'ladi:

$$\cos \alpha = \frac{B_x}{B}, \quad \cos \beta = \frac{B_y}{B}, \quad \cos \gamma = \frac{B_z}{B}$$

Agar biga keluvchi tokni (•) bilan, bizdan ketuvchi tokni esa (×) bilan belgilasak, miqdor jihatidan teng bo'lgan ikkita tokli o'tkazgichning o'tkazgichlardan bir xil uzoqlikdagi A nuqtada xosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganlik yo'nalishlari quyidagicha bo'ladi (12.22-rasm):



12.22-rasm



12.23-rasm

Temir qipqlari bilan tajribalar orqali magnet yoki tokli o'tkazgichning ikki o'lchamli magnet maydoni tasvirini olish mumkin. Uch o'lchamli fazoviy tasvirini olish uchun temir qipqlarini qovushqoqligi ancha yuqori bo'lgan suyuqlikka solib aralashtiriladi. Bu suyuqlikka magnet sterjen yoki tokli o'tkazgich joylanganda temir qipqlar burilib ma'lum bir fazoviy shakllar hosil qiladi. Buni osonroq yo'l bilan, ya'ni zamonaviy kompyuter dasturlari yordamida ham olish mumkin. 12.23-rasmda tokli o'tkazgichlar sistemasi hosil qilgan magnet maydonining fazoviy tasvirlaridan namunalar keltirilgan.



1. Ersted o'tkizgan tajribalarni gapirib bering. Tajriba natijasida qanday xulosa kelib chiqqan?
2. Temir qipqlari yordamida o'tkazilgan tajribalarni gapirib bering. Tajriba natijasida

tokli o'tkazgich va magnittoshning maydoni haqida nima xulosa kelib chiqadi?

3. Nima uchun tabiiy magnit qutblari N va S harflari bilan belgilanadi?

4. Magnit maydon qanday shakldi bo'ladi? Tabiatda "Magnit zaryad" mavjudmi?

5. O'ng parma va o'ng qo'l qoidasi yordamida to'g'ri tok va aylanma toklarning maydonlari qanday tushuntiriladi?

6. Magnit maydon induksiyasi birligi nima, uning bir birligi deb nimaga aytiladi?

7. Magnit maydonlari qanday qo'shiladi? Misollar keltiring.

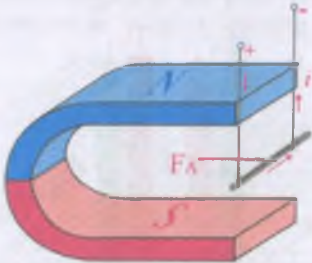


§ 13. AMPER KUCHI VA UNING YO'NALISHI. TOKLI KONTURNING MAGNIT MOMENTI, BUROVCHI MOMENTI VA POTENSIAL ENERGIYASI.

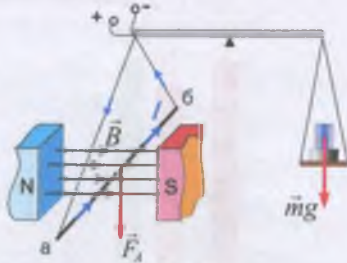
Biz oldingi paragrafda magnit strelkalar va tokli o'tkazgichlar o'z atrofida hosil qilgan magnit maydonlari vositasida bir-birlari bilan ta'sirlashishini o'rgandik. Magnit strelka va tokli o'tkazgichlar o'zaro ta'sirlashar ekan, bu ta'sirni miqdoriy xarakterlaydigan qonun va ta'sir yo'nalishini ko'rsatadigan qoida bormi?

Amper kuchi:

Magnit maydonining tokli o'tkazgichga ta'sirini birinchi bo'lib Amper o'rgandi. Gorizontal erkin tokli o'tkazgichni magnit qutblari orasiga joylashtirganda, tokli o'tkazgich qutblar orasiga tomon tortildi (13.1-rasm). O'tkazgichdagi tok kuchining miqdorini oshirganda qutblar orasiga tortilish yanada kuchaydi. Demak, ta'sir kuchi tok kuchiga proporsional ekan. Tokli o'tkazgichning magnit maydonda turgan qism uzunligi oshirilganda ham ta'sir kuchi proporsional holda oshdi. Undan tashqari magnit maydoni qanchalik kuchli bo'lsa ham ta'sir kuchi shuncha ortar ekan.



13.1-rasm



13.2-rasm

Yuqoridagi fikrlarni xulosa qilib, magnit maydonining tokli o'tkazgichga ta'sir kuchini quyidagicha yozishimiz mumkin ekan:

$$F_A = B I \ell \sin \alpha = B_{\perp} I \ell \quad [N]$$

Bu yerda: $B_{\perp} = B \sin \alpha$ – magnit maydonining tokli o'tkazgichga perpendikulyar tashkil etuvchisi, α – magnit induksiya yo'nalishi va tok oqish yo'nalishi orasidagi burchak.

Magnit maydoni tomonidan tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchga Amper kuchi deyiladi.

Yuqoridagi formuladan agar $\alpha = 90^\circ$, ya'ni magnit induksiyasi tokli o'tkazgichga tik bo'lsa, u holda magnit maydoni o'tkazgichga eng katta, maksimal kuch bilan ta'sir qilayotgan bo'ladi.

$$F_{A,MAX} = B I \ell$$

Ushbu formuladan magnit induksiya quyidagicha bo'ladi:

$$B = \frac{F_{AMW}}{I \ell}$$

Yuqoridagi formuladan magnit induksiyasiga boshqacha ta'rif berish ham mumkin bo'ladi.

Maydonning biror nuqtadagi magnit induksiyasi shu nuqtada induksiya chiziqlariga perpendikulyar joylashtirilgan o'tkazgich orqali birlik tok o'tayotganda uning birlik uzunligiga ta'sir qiluvchi kuchga miqdor jihatidan teng bo'ladi.

Magnit induksiyasining o'lchov birligi 1 T (Tesla) bo'lib unga quyidagicha ta'rif beriladi:

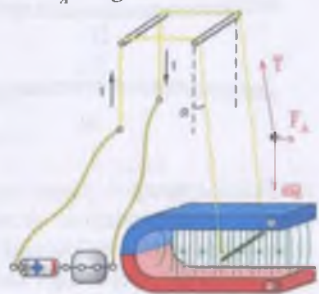
Bir jinsli magnit maydoniga 1 m uzunlikka ega bo'lgan va 1 A tok o'tayotgan tokli o'tkazgich tik holda kiritilganda, bu o'tkazgichga maydon tomonidan 1 N kuch ta'sir qilsa, bu maydonning induksiyasi 1 T ga teng bo'ladi.

$$\frac{1\text{ N}}{1\text{ A} \cdot 1\text{ m}} = 1\text{ T}$$

Amper kuchining kattaligini miqdoriy baholash uchun 13.2-rasmdagidek tajriba o'tkazamiz. Magnit induksiya chiziqlariga tik holda gorizontal o'tkazgichni joylashtiramiz. O'tkazgich yelkalari teng bo'lgan tarozining bir yelkasiga osilgan va uni ikkinchi yelkasida o'tkazgich massasiga teng yuk bilan muvozonatlanadi. O'tkazgichdan tok o'tkazilganda esa muvozonat buzilib birinchi yelka bosib ketadi. Muvozonatni tiklash uchun esa ikkinchi pallaga qo'shimcha mg yuk qo'yiladi. Yelkalar teng bo'lgani uchun Amper kuchi qo'shimcha qo'yilgan yuk og'irligiga teng, ya'ni $F_A = mg$ bo'ladi.

Aper kuchini miqdorini aniqlash uchun 13.3-rasmdagi kabi tajriba o'tkazish ham mumkin. Tokli o'tkazgichga og'irlik kuchi mg , Amper kuchi F_A va ipning taranglik kuchi T kuchlari ta'sir qiladi. Statikadan ma'lum uch kuch muvozonati haqidagi teoremaga asosan, $tg\alpha = \frac{F_A}{mg}$ formuladan, Amper kuchi

$F_A = tg\alpha \cdot mg$ bo'ladi. Burchakni o'lchash va ip bilan tokli o'tkazgichni taroziga tortish orqali Amper kuchining qiymatini aniqlash mumkin.



13.3-rasm

Magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichni maydon bo'ylab ko'chirilsa, u holda mexanik ish bajariladi. Agar tokli o'tkazgichni Amper kuchi bilan ixtiyoriy φ burchak hosil qilib biror d masofaga ko'chirilsa, bajarilgan ish quyidagicha bo'ladi:

$$A = \vec{F}_A \cdot \vec{d} = F_A d \cos\varphi = (B I \ell \sin\alpha) \cdot (d \cos\varphi)$$

Agar magnit maydon tok yo'nalishida ($\alpha = 0$) bo'lsa yoki o'tkazgichni tok yo'nalishida ($\varphi = \pi/2$) ko'chirilsa, bajarilgan ish nolga teng bo'ladi.

Agar magnit maydon o'tkazgichga tik ($\alpha = \pi/2$) bo'lib, o'tkazgich ham Amper kuchi yo'nalishida ($\varphi = 0$) ko'chirilsa, bajarilgan ish maksimal bo'ladi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$A_{\text{max}} = B I \ell d$$

Oldingi boblarda elektr maydoni va Kulon kuchi parallel bo'lishini ko'rgan edik. Lekin, Amper kuchining yo'nalishi magnet maydoni yo'nalishi bilan mos tushmaydi. Yuqorida topilgan tokli o'tkazgichga magnet maydoni ta'sir qiladigan kuch formulasi faqatgina Amper kuchining miqdorini aniqlashga yordam beradi.

Chap qo'l qoidasi:

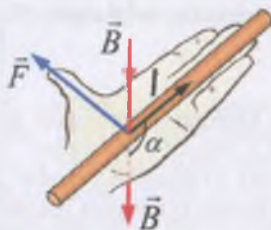
Amper kuchi vektor kttalik ekan, u yo'nalishga ega. Amper kuchining yo'nalishi chap qo'l qoidasiga asosan aniqlanadi (13.4-a,b,rasm).

Chap qo'l qoidasi quyidagicha ta'riflanadi:

Agar chap qo'limizni induksiya vektorining o'tkazgichga perpendikulyar bo'lgan tashkil etuvchisi kaftimizga kiradigan qilib tutib, yoyilagn to'ri barmoq tok yo'nalishi bo'yicha ochilsa, 90° ga kerilgan bosh barmog'imiz esa o'tkazgich kesmasiga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishini ko'rsatadi.



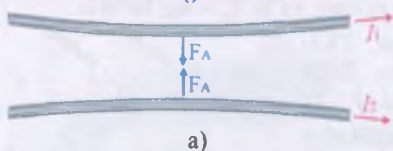
a)



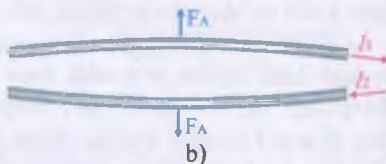
b)

13.4-rasm

Parallel toklarning ta'siri:



a)



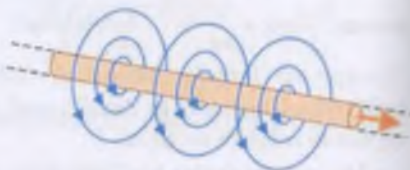
b)

13.5-rasm

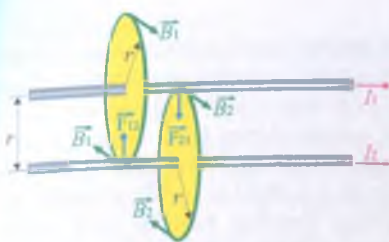
Tokli o'tkazgich faqat magnittosh qutblari orasiga kiritilgandagina Amper kuchi ta'sir qilib qolmasdan, balki tokli o'tkazgich har qanday magnet maydoniga kiritilganda ham bu o'tkazgichga ta'sir qiluvchi Amper kuchi paydo bo'ladi. Jumladan, tokli o'tkazgich boshqa bir tokli o'tkazgichning maydoniga kiritilganda

ham ular o'zaro ta'sirga kirishadi. O'zaro parallel toklarning qanday ta'sirlashishi tajribalardan ma'lum. Agar parallel o'tkazgichlarda toklar bir tomonga yo'nalgan bo'lsa, o'tkazgichlar tortishadi. Agar parallel o'tkazgichlarda toklar qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'lsa, o'tkazgichlar itarishadi (13.5-rasm).

Tortishish va itarishish sabablarini esa chap qo'l qoidasi yordamida osongina tushuntirish mumkin. Ma'lumki, to'g'ri tokli o'tkazgich o'z atrofida koaksial aylanalar ko'rinishida magnet maydon hosil qiladi (13.6-rasm). Agar o'tkazgichlar orasidagi masofa r ga teng bo'lsa, o'tkazgichlardan birining hosil qilgan maydon r radiusli aylana bo'yicha ikkinchisiga perpendikulyar bo'ladi, ikkinchisining ham shu r radiusli aylana bo'yicha birinchisiga perpendikulyar bo'ladi. Chap qo'limizdan foydalanib Amper kuchining yo'nalishini osongina aniqlashimiz mumkin (13.7-rasm).

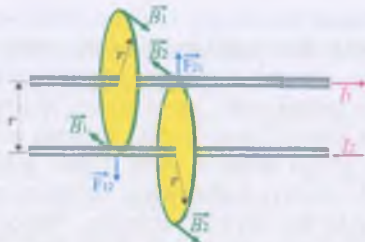


13.6-rasm



a)

13.7-rasm



b)

Parallel toklarning o'zaro ta'sir kuchini miqdoriy o'lchash tajriba yo'li bilan topilgan. Tajriba natijalariga ko'ra parallel toklarning o'zaro ta'sir kuchi har bir o'tkazgichdagi tok kuchiga proporsional, ya'ni $F_A \sim I_1, F_A \sim I_2$ bo'ladi. Bundan toklarning o'zaro ta'sir kuchi tok kuchlari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional, ya'ni $F_A \sim I_1 \cdot I_2$ degan xulosa kelib chiqadi. Undan tashqari tajribalardan ta'sir kuchi o'tkazgichlarning bir-biri bilan ta'sirlashayotgan qism uzunligiga to'g'ri proporsional, ya'ni $F_A \sim \ell$ ekanligi aniqlandi. O'tkazgichlar bir-biridan qancha uzoq joylashtirilsa, ular shuncha kam kuch bilan ta'sirlashadi, ya'ni $F_A \sim 1/r$ ekan.

Shunday qilib, parallel toklarning o'zaro ta'sir kuchi uchun

$$F_A \sim \frac{I_1 I_2 \ell}{r}$$

ekani aniqlandi. Proporsionallikdan tenglikka har doimgidek koeffitsiyent kiritish orqali o'tiladi.

$$F = k \frac{I_1 I_2 \ell}{r} \quad [N]$$

Bu yerda: $k = 2 \cdot 10^{-7} [N/A^2]$ – proporsionallik koeffitsiyenti.

Proporsionallik koeffitsiyentiga quyidagicha ta'rif beramiz:

Vakuumda bir-biridan 1m masofada joylashgan va har biridan 1A dan tok o'tayotgan ikkita parallel o'tkazgichning har 1m qism uzunligi bir-biri bilan $2 \cdot 10^{-7} N$ kuch bilan ta'sirlashadi.

Parallel toklarning o'zaro ta'sir kuchini magnit doimiysi orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi r} \quad [N]$$

Bu yerda: $\mu_0 = 2\pi k = 4\pi \cdot 10^{-7} [N/A^2]$ – magnit doimiysi.

Agar parallel toklar biror muhitda turgan bo'lsa, yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$F_M = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi r} \quad [N]$$

Bu yerda: $\mu = \frac{F_M}{F}$ – muhitning magnit singdiruvchanligi bo'lib, muhit magnit xossalari

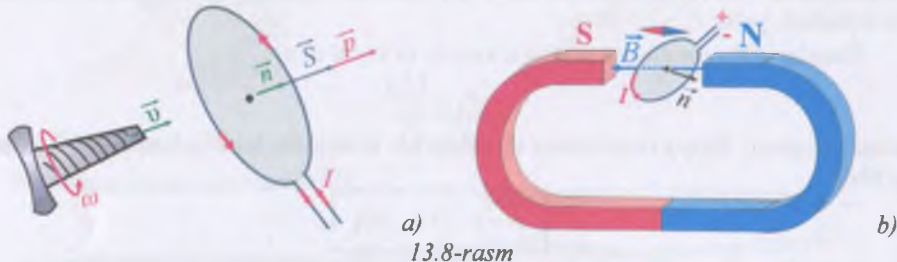
tufayli ta'sir kuchi vakuumga nisbatan necha marta ortishini bildiradi. Turli muhitning magnit xossalari va ularning magnit singdiruvchanligi haqida keyingi mavzularda batafsil to'xtalamiz.

Magnit maydoniga kiritilgan tokli kontur:

Elektr maydonini tekshirganda nuqtaviy “sinov zaryadi” dan foydalangan edik. Xuddi shunday magnit maydonini tekshirganda “magnit strelka” (strelka shaklidagi kichkina doimiy magnit) yoki “sinov kontur” (kichkina tokli berk kontur)idan foydalanamiz. Bunda “sinov kontur” maydonning berilgan nuqtasidagi xususiyatlariga ta’sir etmasligi uchun uning yuzasi mumkin qadar kichik qilib tanlanadi. Undan tashqari sinov konturining yuzasi ixtiyoriy (uchburchak, to’rtburchak, aylana va h.) shaklda bo’lib, o’ramlar soni ham ixtiyoriy bo’lishi mumkin. “Sinov konturi”ning fazodagi vaziyati yuza normalni yo’nalishi bilan aniqlanadi. Yuza normalni sirt yuziga tik holda o’tkazilgan musbat birlik vektor $\vec{n}$ ($n=1$)dir. $\vec{n}$ normalning yo’nalishi esa konturdagi tokning yo’nalishiga bog’langan holda o’ng parma qoidasi yordamida aniqlanadi (13.8-a,rasm).

O’ng parma dastasining aylanma harakat yo’nalishi konturdagi tokning yo’nalishi bilan mos tushsa, uning ilgariylanma harakat yo’nalishi esa kontur yuziga o’tkazilgan musbat normalning yo’nalishini ko’rsatadi.

Oldingi mavzularda aylanma tokning magnit maydoniga ham xuddi shunday ta’rif bergan edik. Demak, kontur normalining yo’nalishi kontur markazidagi magnit maydon yo’nalishi bilan mos tushar ekan.



Kontur yuzasini yuza normaliga ko’paytmasi yuza vektorini beradi (13.8-a,rasm).

$$\vec{S} = S \cdot \vec{n}$$

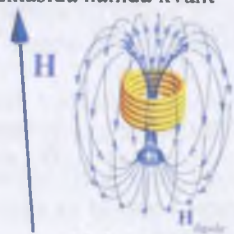
Magnit moment:

“Sinov konturi” konturning magnit momenti deb ataluvchi vektor kattalik bilan karakterlanadi.

Konturning magnit momenti deb konturdan o’tayotgan tok kuchining yuza vektoriga ko’paytmasiga teng bo’lgan vektor kattalikka aytiladi.

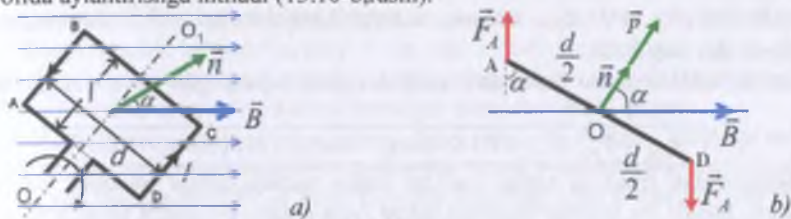
$$\vec{P}_\mu = I \cdot \vec{S} = I \cdot S \cdot \vec{n}, \quad P_\mu = I \cdot S$$

Demak, yuza normalni, yuza vektorini va magnit momenti vektorlari yo’nalishdosh ekan (13.8-rasm). Magnit moment kattaligi atom, yadro va zarralar fizikasida hamda kvant mexanikasida juda katta ahamiyatga egadir. Unda har bir zarraning xususiy va orbital magnit momentlari o’rganiladi. Konturni biror tashqi magnit maydoniga kiritilganda unga albatta magnit maydoni tomonidan ta’sir bo’ladi. Bunda konturning magnit momentini magnit dipol deb ham ataladi. 13.9-rasmda magnit dipolning maydoni tasvirlangan.



Burovchi moment:

Magnit maydon chiziqlariga tik OO_1 o'q atrofida aylanuvchi to'g'ri to'rtburchak shaklidagi $ABCD$ tokli konturni olaylik (13.10-a,rasm). Bu konturning bo'yi $AB=CD=\ell$ ga, eni esa $BC=DA=d$ ga teng. Bu konturning to'rtala tomoni ham magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichlar bo'lgani uchun ularning har biriga magnit maydoni tomonidan Amper kuchlari ta'sir qiladi. Jumladan, konturning AB va CD tomonlariga teng miqdorda $F_{AB}=F_{CD}=BI\ell$ ga teng, BC va DA tomonlariga esa $F_{BC}=F_{DA}=BId$ ga teng amper kuchlari ta'sir qiladi. BC va DA tomonlariga ta'sir qiluvchi Amper kuchlari har doim bir tekislikda yotadi, miqdoran teng bo'lib qarama-qarshi tomonga yo'naladi, bu kuchlar orasidagi yelka har doim nolga teng bo'ladi. Shuning uchun, bu kuchlar juft kuchlarni (burovchi momentni) hosil qilmaydi va bu kuchlar ta'sirida aylanma harakat yuzaga kelmaydi. Konturning AB va CD tomonlariga ta'sir qiluvchi Amper kuchlari esa juft kuchlarini (burovchi momentni) hosil qiladi. Chunki, bu kuchlar orasidagi masofa $x=d\sin\alpha$ ga teng parallel chiziqlarda yotib, yo'nalishlari esa qarama-qarshi bo'ladi. Shuning uchun, bu juft kuchlar ta'sirida burovchi moment paydo bo'lib, sim ramkani OO_1 o'q atrofida aylantirishga intiladi (13.10-b,rasm).



13.10-rasm

Mexanikaning statika bo'limidan ma'lumki, juft kuch va bu kuchlar orasidagi yelka ko'paytmasi burovchi momentni beradi. Unga ko'ra

$$M = F_A \cdot x = BI\ell d \sin\alpha = BIS \sin\alpha = Bp_\mu \sin\alpha$$

bo'ladi.

Demak, magnit maydoniga kiritilgan berk konturda hosil bo'ladigan burovchi moment quyidagi formuladan aniqlanar ekan:

$$M = BIS \sin\alpha = Bp_\mu \sin\alpha$$

Yuqoridagi formulani vektor ko'rinishda yozadigan bo'lsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\vec{M} = \vec{B} \times \vec{p}_\mu = I (\vec{B} \times \vec{S}) = IS (\vec{B} \times \vec{n})$$

Demak, burovchi moment vektori magnit induksiya vektori bilan magnit momenti vektorining vektorli ko'paytmasiga teng bo'lar ekan. Yuqoridagi rasmda moment vektori OO_1 o'q bo'ylab O_1 nuqtadan O nuqtaga tomon yo'naladi va moment vektori uchida qaralganda aylanma harakat soat miliga qarama-qarshi yo'nalishda sodir bo'ladi.

Kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga tik bo'lganda ($\alpha=0$), burovchi momentning qiymati nolga teng bo'ladi. Aksincha kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga parallel bo'lganda ($\alpha=\pi/2$) esa, burovchi momentning qiymati maksimal bo'ladi. Maksimal burovchi moment quyidagicha bo'ladi:

$$M_{\max} = BIS = Bp_\mu$$

Magnit maydoniga kiritilgan berk konturda hosil bo'ladigan magnit maydonidan hayotda va texnikada juda ko'p qo'llaniladi. Xususan, barcha turdagi elektrodvigatellarning ishlash prinsipi ana shunga asoslangan.

Konturni burishda bajarilgan ish, konturning potentsial energiyasi:

Mexanikaning dinamika bo'limidan bizga ma'lumki, potentsial energiya – bu ta'sir energiyasidir. Ta'sirlashuvchi har qanday jismlar ish bajarish qobiliyatiga, shuningdek potentsial energiyaga ega bo'ladi. Magnit maydoniga kiritilgan sinov konturiga ta'sir qiluvchi burovchi moment bajargan ishini hisoblaylik.

Qattiq jismlar mexanikasidan ma'lumki, burovchi moment va burilish burchagi bog'langan grafik bilan chegaralangan yuza burishda bajarilgan ishini beradi, ya'ni

$$A = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} M(\varphi) d\varphi$$

bo'ladi. Shunga ko'ra, magnit maydonining konturni burishda bajargan ishi

$$A_{\text{mag}} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} M(\varphi) d\varphi = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} B I S \sin \varphi d\varphi = B I S (-\cos \varphi) \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2} = -B I S \cos \alpha_2 - (-B I S \cos \alpha_1) =$$

$$= W_{p_1} - W_{p_2} = B I S (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) = B p_{\mu} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda $W_p = -B I S \cos \alpha$ ni magnit maydondagi tokli konturning potentsial energiyasi deb belgiladik.

Demak, tokli konturni burishda magnit maydoni bajaradigan ish quyidagicha bo'lar ekan:

$$A_{\text{mag}} = W_{p_1} - W_{p_2} = B I S (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) = B p (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

Mexanikadan ichki va tashqi kuchlar jismni qarama-qarshi tomonga ko'chirishga intilishini, hamda bu kuchlar bajargan ishlar ham o'zaro (-) ishora bilan bog'langanini bilamiz. Xuddi shuningdek, tashqi kuchlar bajargan ish magnit maydoni bajargan ish bilan (-) ishora bilan bog'langan, ya'ni $A_{\text{tash}} = -A_{\text{mag}}$ bo'ladi. Shunga ko'ra konturni maydonga qarama-qarshi burishda bajarilgan ishini aniqlash mumkin.

Demak, tokli konturni magnit maydoniga qarshi burishda tashqi kuchning bajaradigan ish quyidagicha bo'lar ekan:

$$A_{\text{tash}} = W_{p_2} - W_{p_1} = B I S (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = B p (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

Magnit maydoniga kiritilgan tokli berk konturning potentsial energiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$W_p = -B I S \cos \alpha = -\vec{B} \cdot \vec{p}_{\mu}$$

Demak, yuqoridagi formuladan quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

1) agar tokli kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga parallel ($\alpha = \pi/2$) bo'lsa, konturning potentsial energiyasi o'zining eng maksimal $W_{p, \text{max}} = 0$ qiymatiga erishadi;

2) agar tokli kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga perpendikulyar ($\alpha = 0$) bo'lsa, konturning potentsial energiyasi o'zining eng minimal $W_{p, \text{min}} = -B I S = -B p$ qiymatiga erishadi.



1. Amper qonunini ta'riflang va uning matematik ifodasini yozing.

2. Chap qo'l qoidasini aytib bering. Chap qo'l qoidasi asosida parallel toklarning tortishii va itarishini tushuntirib bering.

3. Parallel toklarning o'zaro ta'sir kuchini aniqlovchi ifodani yozing.

4. Proporsionallik koeffitsienti k hamda magnit doimiysi μ larning son qiymatlari va o'lovch birliklarini aytib bering. Ularning orasidagi bog'lanishni yozing.
5. Sinov konturi nima? Sinov konturining magnit momenti qanday aniqlanadi? Yo'nalishichi?
6. Magnit maydoniga kiritilgan tokli konturga ta'sir qiluvchi burovchi moment



§ 14. BIO-SAVAR-LAPLAS QONUNI VA UNDA KELIB CHIQUADIGAN NATIJALAR.

Magnit maydonni tokli o'tkazgichlar hosil qilishini bilib oldik. Tokli o'tkazgichlar ichida esa zaryad tashuvchi erkin elektironlar harakatlanadi. Shuning uchun, magnit maydonini harakatlanayotgan zaryadli zarra hosil qiladi yoki elektr maydoni siljiganda magnit maydoni hosil bo'ladi deyish mumkin. Shunday ekan, tokli o'tkazgichlarning magnit maydoni qanday hisoblab topiladi?

Bio-Savar-Laplas qonuniga ta'rif:

Tokli o'tkazgichlarning magnit maydonini hisoblash ustida Bio, Savar va Laplaslar ish olib borganlar. Bio va Savar turli shakldagi tokli o'tkazgichlar atrofidagi magnit maydonlarni tekshirish natijasida magnit induksiyasi tok kuchi I ga to'g'ri proporsional, tokli o'tkazgichgacha bo'lgan masofa r ga esa teskari proporsional degan xulosaga kelishganlar. Laplas ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichlar atrofidagi nuqtalar uchun magnit induksiyasini aniqlash imkonini beradigan formulani taklif qilgan.

Laplas maydonlar superpozitsiya prinsipidan foydalanib shunday xulosaga keldi: bir necha toklar hosil qilayotgan natijaviy maydon har bir tok hosil qilayotgan maydonlarning geometrik yig'indisiga teng bo'lar ekan, ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichning maydoni ham bu o'tkazgichni mayda qismlarga bo'laklaganda har bir qism hosil qilgan maydonlarning geometrik yig'indisiga teng bo'lish kerak deya ta'kidladi. Laplas birinchi bo'lib *tok elementi* tushunchasini kiritdi.

Ixtiyoriy shakldagi o'tkazgichni elementar $d\vec{\ell}$ bo'lakchalarga ajratish mumkin. Elementar bo'lakcha $d\vec{\ell}$ ni tok kuchi I ga ko'paytmasini, ya'ni tok oqayotgan tomonga yo'nalgan $I d\vec{\ell}$ vektor kattalikni *tok elementi* deb atadi.

Olimlar Bio-Savar-Laplas tok elementi hosil qilgan magnit induksiya vektorini ko'rsatuvchi quyidagi formulani kashf qilishdi:

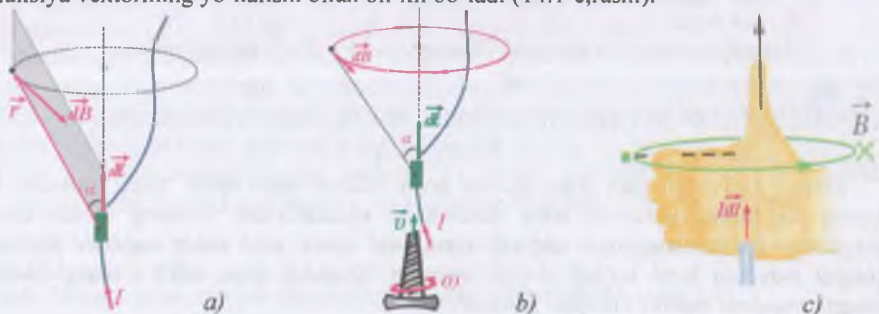
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$$

Magnit maydon $d\vec{B}$ ning yo'nalishi $d\vec{\ell} \times \vec{r}$ vektorli ko'paytma yo'nalishi bilan mos tushadi. $d\vec{\ell} \times \vec{r}$ vektorli ko'paytmaning miqdori esa $d\vec{\ell}$ va $\vec{r}$ vektorlarga qurilgan parallelogramning yuziga teng bo'ladi, ya'ni $|d\vec{\ell} \times \vec{r}| = d\ell r \sin \alpha$ bo'ladi. Magnit maydon $d\vec{B}$ ning yo'nalishini aniqlash uchun 3ta ta'rif keltiramiz (14.1-rasm):

1-ta'rif (vektor ko'paytma ta'rif): $d\vec{B}$ vektor shunday yo'naladiki, bu vektorning uchidan qaraganda $d\vec{\ell}$ vektorni $\vec{r}$ vektor bilan eng qisqa yo'l bilan ustma-ust tushirishda aylanma harakat soat strelkasiga qarama-qarshi ko'rinish kerak (14.1-a,rasm).

2-ta'rif (o'ng parma qoidasi): Agar o'ng parmaning ilgarilanma harakati $d\vec{\ell}$ vektorning yo'nalishini ko'rsatsa, u holda parma dastasining aylanish yo'nalishi $d\vec{B}$ vektorning yo'nalishini ko'rsatadi (14.1-b,rasm).

3-ta'rif (o'ng qo'l qoidasi): Agar o'ng qo'limizning 90° ga kerilgan bosh barmog'i to'g'ri tok yo'nalishini ko'rsatsa, u holda parma dastasining aylanish yo'nalishi magnit induksiya vektorining yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi (14.1-c,rasm).



14.1-rasm

Shunday qilib, $d\vec{B}$ vektorining yo'nalishi $d\vec{\ell}$ va $\vec{r}$ vektorlardan o'tuvchi tekislikka perpendikulyar, ya'ni $d\vec{B} \perp d\vec{\ell}$, $d\vec{B} \perp \vec{r}$ bo'lar ekan.

Bio-Savar-Laplas qonuniga ko'ra tok elementi hosil qilgan magnit maydon induksiya son jihatdan quyidagicha topiladi:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell \sin \alpha}{r^2}$$

Ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichning maydoni tok elementlari hosil qilgan maydonlarning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi.

$$\vec{B} = \int d\vec{B}$$

Endi Bio-Savar-Laplas qonunini turli shakldagi o'tkazgichlar uchun tatbiq qilib, bu o'tkazgichlarning magnit maydon induksiya sonini topamiz.

To'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotgan nuqtaviy zaryadning magnit maydoni:

Ma'lumki, zaryadli zarrachalarning bir tomonga ko'chishi tokni hosil qiladi. Shunday ekan, har qanday tok elementida ham ma'lum sondagi tok tashuvchi zaryadli zarrachalar mavjud. Bu zaryadli zarrachalarning yig'indi zaryadini $q = Ne$, uning harakatidan hosil bo'lgan tokni $I = \frac{q}{dt} = \frac{Ne}{dt}$, tok elementini esa $I d\ell = \frac{q}{dt} d\ell = q \vartheta$ bilan belgilash mumkin.

Tok elementi o'rniga harakatlanayotgan nuqtaviy zaryadni olsak, uning magnit maydon induksiya soni quyidagicha bo'ladi (14.1-a,rasm):

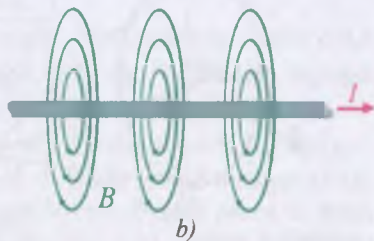
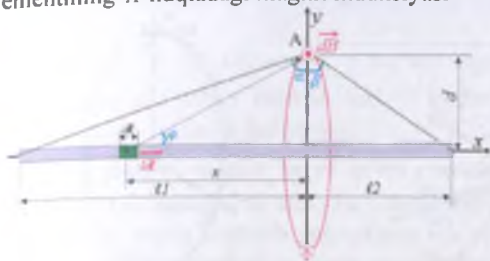
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \vartheta \sin \alpha}{r^2}$$

To'g'ri tokning magnit maydoni:

To'g'ri tokning magnit maydonini dastlab chekli uzunlik uchun hisoblab, so'ngra uni cheksiz uzunlik uchun tatbiq etamiz.

Biror uzunlikdagi chekli to'g'ri tokli o'tkazgich berilgan bo'lib, bu o'tkazgichdan ixtiyoriy d masofadagi A nuqtada magnit induksiya soni so'ralgan bo'lsin. A nuqtadan o'tkazgich uchlariga qaraganda α va β burchaklar ostida ko'rinsin (14.2-a,rasm). A nuqtadan O_y o'qini, o'tkazgich orqali esa O_x o'qini o'tkazamiz. Koordinata boshidan

ixtiyoriy x masofada $d\ell = dx$ uzunlikdagi $I d\ell = I dx$ tok elementini olamiz. Bu tok elementining A nuqtadagi magnit induksiyasi



14.2-rasm

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell \sin \varphi}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dx}{x^2 + d^2} \cdot \frac{d}{\sqrt{x^2 + d^2}} = \frac{\mu_0 I d}{4\pi} \cdot \frac{dx}{(x^2 + d^2)^{3/2}}$$

ga teng bo'ladi. Bu elementar magnit induksiyasini $-\ell_1$ dan $+\ell_2$ gacha integrallab so'ralgan kattalikni aniqlashimiz mumkin. Hisoblashlar natijasida

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \int d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d}{4\pi} \cdot \int_{-\ell_1}^{\ell_2} \frac{dx}{(x^2 + d^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I d}{4\pi} \cdot \frac{1}{d^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + d^2}} \Big|_{-\ell_1}^{\ell_2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} \cdot \left(\frac{\ell_2}{\sqrt{\ell_2^2 + d^2}} - \frac{-\ell_1}{\sqrt{\ell_1^2 + d^2}} \right) = \\ &= \frac{\mu_0 I}{4\pi d} \cdot (\sin \alpha + \sin \beta) = k \frac{I}{2d} \cdot (\sin \alpha + \sin \beta) \end{aligned}$$

formula kelib chiqadi.

Shunday qilib, chekli uzunlikdagi to'g'ri tokli o'tkazgichning o'tkazgichdan d masofadagi magnit induksiyasi quyidagicha bo'lar ekan (14.2-a,rasm):

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\sin \alpha + \sin \beta) = k \frac{I}{2r} (\sin \alpha + \sin \beta)$$

Yuqorila keltirib chiqarilgan formulada $\alpha = \beta = 90^\circ$ desak, u holda cheksiz to'g'ri o'tkazgichning maydoni hosil bo'ladi.

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\sin 90^\circ + \sin 90^\circ) = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (1 + 1) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = k \frac{I}{r}$$

Demak, cheksiz uzunlikdagi to'g'ri tokli o'tkazgichning o'tkazgichdan d masofadagi magnit induksiyasi quyidagi formula yordamida hisoblanar ekan (14.2-b,rasm):

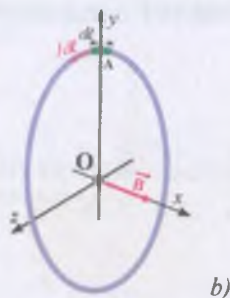
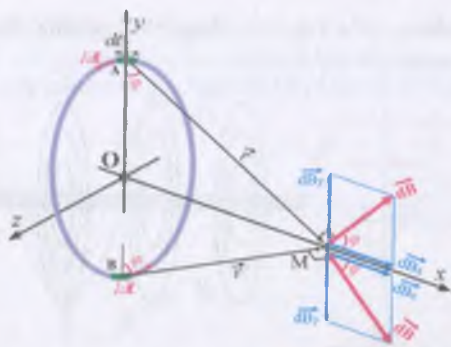
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = k \frac{I}{r}$$

Aylanma tokning magnit maydon:

Aylanma tokning magnit maydonini dastlab aylana o'qida yotgan nuqta uchun keltirib chiqaramiz. So'ngra aylana markazi uchun xususiy hol sifatida yozamiz.

Aylanma tokning ixtiyoriy A nuqtasidan $d\ell$ uzunlikdagi $I d\ell$ tok elementini olamiz. $d\vec{\ell}$ vektor va M nuqtaga o'tkazilgan $\vec{r}$ radius-vektor orasidagi burchak α har doim 90° ga teng. Tok elementining M nuqtadagi magnit induksiyasi

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell \sin \alpha}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\ell \sin 90^\circ}{\sqrt{R^2 + L^2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi \sqrt{R^2 + L^2}} d\ell$$



14.3-rasm

ga teng bo'ladi. Bu elementar magnit induksiyasining Ox va Oy o'qlardagi proektsiyalari mos holda $\begin{cases} dB_x = dB \cos \varphi \\ dB_y = dB \sin \varphi \end{cases}$ bo'ladi. Lekin, aylananing qarama-qarshi tomonlaridan olingan

A va B nuqtalaridagi magnit induksiyalarining Oy o'qdagi proyeksiyalari qarama-qarshi tomonga yo'nalgan va miqdorlari teng bo'lgani uchun bu proyeksiyalar yig'indisi nolga teng bo'ladi. Natijada magnit induksiyasining faqat Ox o'qdagi proyeksiyasi qoladi. Shuning uchun, aylanma tok hosil qilayotgan magnit induksiyasi tok elementlarining Ox o'qdagi proyeksiyalari yig'indisiga teng, ya'ni $\vec{B} = \oint d\vec{B} = \oint dB_x$ bo'ladi. Unga ko'ra magnit induksiyasi

$$B = \int_0^{2\pi R} dB_x = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 I}{4\pi \sqrt{R^2 + L^2}} dl \cdot \cos \varphi = \frac{\mu_0 I R}{4\pi (R^2 + L^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + L^2)^{3/2}}$$

ga teng bo'ladi.

Demak, R radiusli aylanma tokning markazidan ixtiyoriy L masofada magnit induksiyasi quyidagicha bo'lar ekan (14.3-a,rasm):

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + L^2)^{3/2}} = \pi k \frac{I R^2}{(R^2 + L^2)^{3/2}}$$

Yuqoridagi formulada $L = 0$ desak, u holda aylana markazi uchun magnit induksiyasi uchun ushbu

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + L^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + 0^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I R^2}{2R^3} = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{\pi k I}{R}$$

qiymati kelib chiqadi.

Demak, R radiusli aylanma tokning markazida magnit induksiyasi quyidagicha bo'lar ekan (14.3-b,rasm):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} = \pi k \frac{I}{R}$$

Magnit maydon sirkulyatsiyasi:

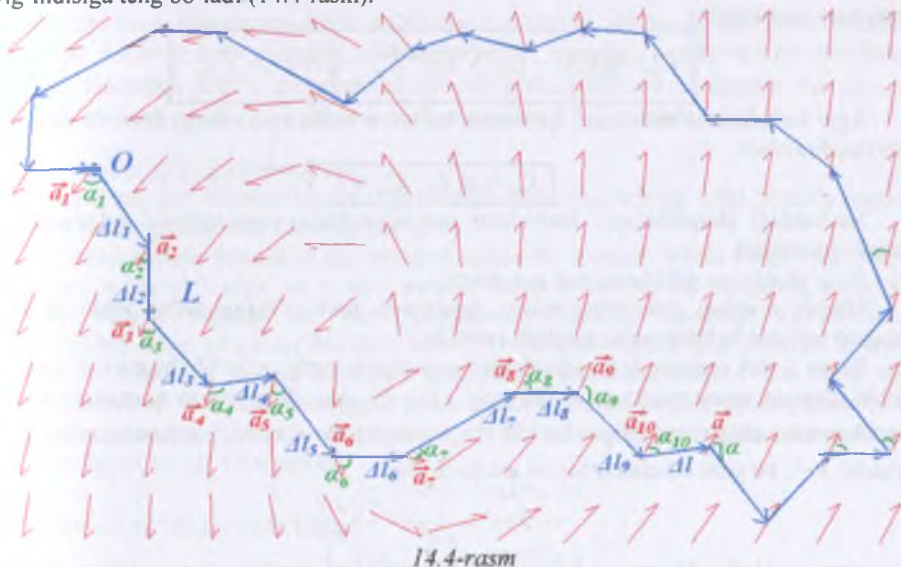
Solenoid (tokli g'altak) va toroidning magnit induksiyalarini hisoblash uchun *magnit induksiyasi sirkulyatsiyasi* tushunchasini bilishimiz kerak bo'ladi. Sirkulyatsiya tushunchasi barcha vektor kattaliklarga tegishli bo'lib, shu tushunchani yoritaylik.

Biror $\vec{a}$ vektor kattalik va $\vec{\ell}$ ko'chish vektorining skalyar ko'paytmasiga teng skalyar kattalikka berilgan vektor kattalikning yo'lda bajarigan ishi deyiladi.

$$A_a = \vec{a} \cdot \vec{\ell} = a \cdot \ell \cdot \cos \alpha$$

Bu yerda: $A_a - \vec{a}$ vektorning ℓ yo'lda bajarigan ishi. Shuni alohida eslatib o'tish kerakki, agar $\vec{a}$ vektor kattalik deb $\vec{F}$ kuchni olsak, u holda $\vec{F}$ kuchning bajarigan $A_F = \vec{F} \cdot \vec{\ell}$ ishi – mexanik ish bo'ladi.

Biror kattalikni miqdor va yo'nalish jihatidan xarakterlovchi ixtiyoriy $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydon berilgan bo'lsin. Bu vektor maydonda L yopiq kontur berilgan bo'lib, vektorning L yopiq konturda bajaradigan ishi so'ralgan bo'lsin. Buning uchun L yopiq konturni juda ko'p sondagi va qisqa uzunlikdagi $\Delta\ell_1, \Delta\ell_2, \Delta\ell_3, \dots, \Delta\ell_n$ mayda bo'laklarga bo'lamiz. $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydonning bu qismlardagi kattaliklari $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3, \dots, \vec{a}_n$ bo'lib, bu vektorlar $\vec{\Delta\ell}_1, \vec{\Delta\ell}_2, \vec{\Delta\ell}_3, \dots, \vec{\Delta\ell}_n$ vektorlar bilan mos holda $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ burchaklar hosil qilsin. $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydonning L yopiq konturda bajarigan ishi bu maydonning har bir $\Delta\ell_1, \Delta\ell_2, \Delta\ell_3, \dots, \Delta\ell_n$ mayda qismlarda bajarigan kichik ishlari yig'indisiga teng bo'ladi (14.4-rasm).



Vektor kattalikning berk konturda bajarilgan ishiga shu **vektor kattalikning sirkulyatsiyasi** deyiladi va $C = \oint dA$ bilan belgilanadi.

Vektor maydon sirkulyatsiyasi quyidagicha topiladi:

$$C = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \vec{a}_1 \cdot \vec{\Delta\ell}_1 + \vec{a}_2 \cdot \vec{\Delta\ell}_2 + \vec{a}_3 \cdot \vec{\Delta\ell}_3 + \dots + \vec{a}_n \cdot \vec{\Delta\ell}_n = a_1 \Delta\ell_1 \cos \alpha_1 + a_2 \Delta\ell_2 \cos \alpha_2 + a_3 \Delta\ell_3 \cos \alpha_3 + \dots + a_n \Delta\ell_n \cos \alpha_n$$

Vektor maydon sirkulyatsiyasini qisqaroq ko'rinishida quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \sum_{i=1}^n A_i = \sum_{i=1}^n \vec{a}_i \cdot \vec{\Delta \ell}_i = \sum_{i=1}^n a_i \Delta \ell_i \cos \alpha_i$$

Topilgan formulalar $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydonning L yopiq konturda taxminiylir sirkulyatsiyasini beradi. Sirkulyatsiyaning aniq qiymatini aniqlash uchun L yopiq konturni cheksiz ko'p ($n \rightarrow \infty$) bo'laklarga bo'lish kerak va elementar ishlarni qo'shib chiqish kerak bo'ladi. Bunda $\Delta \ell_i$ uzunlik $d\ell$ elementar uzunlikka, $\sum$ belgisi esa $\int$ belgisiga aylanib ketadi.

Vektor maydon sirkulyatsiyasining integral ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$C = \oint dA = \oint \vec{a} d\vec{\ell}$$

Magnit induksiya ham vektor kattalik bo'lgani uchun uning sirkulyatsiyasi ham biror qiymatga ega bo'lish kerak. Hisob-kitoblarga ko'ra magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi berk kontur ichidan o'tuvchi toklarning algebraik yig'indisiga to'g'ri proporsional, ya'ni $C_B \sim \sum I_i$ ekan.

Magnit maydon induksiya vektori va magnit maydon kuchlanganlik vektorlarining sirkulyatsiyalari quyidagicha bo'ladi (magnit maydon kuchlanganligi bilan keyingi mavzuda tanishamiz):

$$C_B = \oint \vec{B} d\vec{\ell} = \mu_0 \cdot \sum_{i=1}^n I_i, \quad C_H = \oint \vec{H} d\vec{\ell} = \sum_{i=1}^n I_i$$

Agar berk kontur bitta tokni qamragan bo'lsa, u holda yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$C_B = \mu_0 I, \quad C_H = I$$

Navbatdagi chiqariladigan formulalar magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi orqali aniqlanadi.

To'g'ri tokning ichida magnit maydoni:

Magnit maydon sirkulyatsiyasidan foydalanib tokli o'tkazgichning ichki qismida magnit maydon induksiya qismini aniqlash mumkin.

Bizga I tok oqayotgan R radiusli tokli o'tkazgich berilgan bo'lib, bu tokli o'tkazgich ichki qismida uning markazidan ixtiyoriy r ($r < R$) masofada yotgan nuqtadagi magnit induksiya qismini aniqlash so'ralgan bo'lsin (14.5-a, rasm). Bu r radiusli aylana uzunligi $2\pi r$, yuzasi πr^2 , bu yuz ichidan o'tuvchi tok kuchi esa

$$i = J \pi r^2 = \frac{I}{\pi R^2} \pi r^2 = \left(\frac{r}{R}\right)^2 I$$

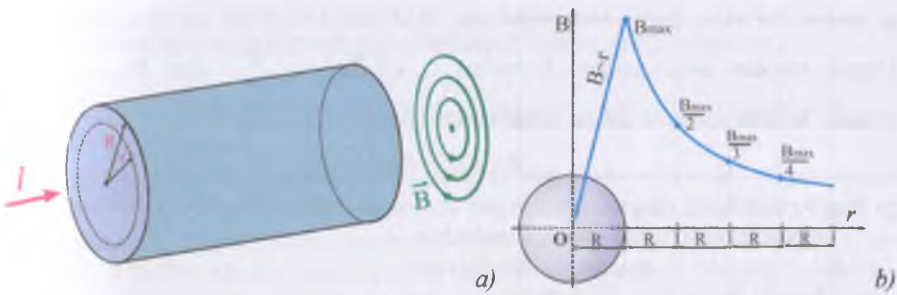
ga teng bo'ladi. Magnit maydon induksiya qismini uzunligi $2\pi r$ aylana bo'ylab sirkulyatsiyasi

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 i = \mu_0 \left(\frac{r}{R}\right)^2 I$$

ga teng bo'ladi. Bundan

$$B = \frac{r}{R} \cdot \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{r}{R} B_{\text{max}}$$

kelib chiqadi.



14.5-rasm

Demak, R radiusli tokli o'tkazgich markazidan ixtiyoriy r ($r < R$) masofada magnit maydon induksiya quyidagicha bo'lar ekan (14.5-rasm).

$$B = \frac{r}{R} \cdot \frac{\mu_0 I}{2 \pi R} = \frac{r}{R} B_{\max}$$

Bu yerda: $B_{\max} = \frac{\mu_0 I}{2 \pi R}$ tokli o'tkazgich sirtidagi magnit induksiya bo'lib, tokli o'tkazgich hosil qilgan eng katta induksiya o'tkazgich sirtida bo'ladi (14.5-b, rasm). Rasmdan ko'rinib ham turibdiki, o'tkazgich ichki qismida ($r < R$) magnit induksiya qiymati masofaga to'g'ri proporsional ($B \sim r$), o'tkazgich tashqi qismida esa ($r > R$) magnit induksiya qiymati masofaga teskari proporsional ($B \sim \frac{1}{r}$), bo'lar ekan.

Solenoidning magnit maydoni:

Magnit maydon sirkulyasiyasidan foydalanib tokli solenoidning ichki qismida magnit maydon induktsiyasini aniqlash mumkin.

Solenoid cheksiz uzunlikka ega bo'lgani uchun bu solenoid ichida magnit induksiya chiziqlari solenoid o'qiga va o'zaro parallel bo'ladi. Boshqacha aytganda, solenoid ichidagi magnit maydon bir jinsli maydondir. Cheksiz uzunlikka ega bo'lgan solenoiddan $abcd$ to'g'ri to'tburchak olamiz (14.6-rasm). Bu to'g'ri to'tburchakning ad va bc tomonlari magnit induksiya chiziqlariga perpendikulyar, ℓ uzunlikka ega bo'lgan ab va cd tomonlari esa magnit induksiya chiziqlariga parallel joylashgan. Magnit induksiya vektorining har bir qismida bajargan ishlarini aniqlaymiz. Magnit induksiya vektorining ab yo'lda bajargan ishi

$$A_{ab} = B \cdot ab \cdot \cos 0^\circ = B \ell$$

ga, bc va ad yo'lda bajargan ishlari

$$A_{bc} = A_{da} = B \cdot bc \cdot \cos 90^\circ = 0$$

ga, cd yo'lda bajargan ishi esa solenoid tashqarisida maydon bo'lmagani uchun

$$A_{cd} = 0 \cdot cd \cdot \cos 0^\circ = 0$$

ga teng bo'ladi. Demak, magnit maydonining $abcd$ to'g'ri to'tburchak bo'yicha sirkulyatsiyasi

$$C = \oint dA = A_{ab} + A_{bc} + A_{cd} + A_{da} = B \ell + 0 + 0 + 0 = B \ell$$

ga teng bo'lar ekan. Boshqa tomondan esa $abcd$ berk kontur ichidan NI tok o'tmoqda.

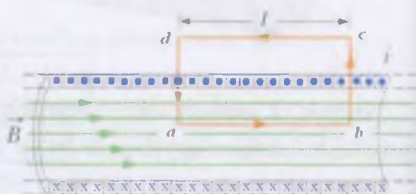
Magnit maydon sirkulyatsiyasi formulasi $C_B = \oint \vec{B} d\vec{\ell} = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i$ dan $B\ell = \mu_0 NI$ kelib chiqadi. Shunda solenoid ichida magnit induksiyasi

$$B = \mu_0 I \frac{N}{\ell} = \mu_0 I n$$

ga teng bo'lishi kelib chiqadi.

Demak, cheksiz uzun tokli solenoidning ichki qismida magnit induksiyasi quyidagicha bo'lar ekan (14.6-rasm):

$$B = \mu_0 I \frac{N}{\ell} = \mu_0 I n$$



14.6-rasm

Bu yerda: $n = N/\ell$ —o'ramlar zichligi deb ataladi, ya'ni solenoidning 1m uzunligida nechta o'ram borligini bildiradi.

Toroidning magnit maydoni:

Agar solenoidning o'qini egib aylana shakliga keltirilsa, toroid hosil bo'ladi. Magnit maydon sirkulyatsiyasidan foydalanib tokli toroidning ichki qismida magnit maydon induksiyasini aniqlash mumkin.

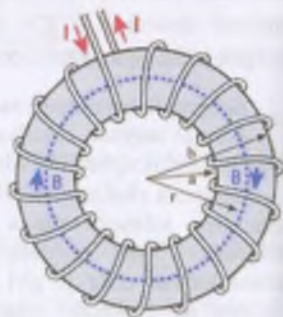
Toroidning o'qi r radiusli aylanadan iborat. Toroidning o'qidagi magnit induksiyasini aniqlash so'ralgan. Buning uchun magnit induksiya vektorining r radiusli aylana bo'yicha sirkulyatsiyasidan foydalanamiz. Natijada

$$C = B \cdot (2\pi r) \cdot \cos 0^\circ = \mu_0 \cdot (NI), \rightarrow B = \mu_0 I \frac{N}{2\pi r}$$

kelib chiqadi.

Demak, tokli toroidning ichki qismida magnit induksiyasi quyidagicha bo'lar ekan:

$$B = \mu_0 I \frac{N}{2\pi r} = \mu_0 I n$$



14.7-rasm

Magnit induksiyasini aniqlashga doir yuqorida topilgan barcha formulalar faqat vakuumdagi tokli o'tkazgich uchundir. Agar shu tokli o'tkazgichlardan birortasining muhitdagi magnit induksiyasini aniqlash so'ralgan bo'lsa, vakuum uchun topilgan formulani muhitning magnit xossasini xarakterlovchi μ kattalikka ko'paytiramiz. Masalan, solenoid o'zagida magnit induksiyasi $B = \mu_0 I n$ bo'lsa, o'zakka magnetik muhit kiritilgandagi induksiya esa $B = \mu \mu_0 I n$ bo'ladi.



1. Bio-Savar-Laplas qonunining vektor ko'rinishidagi ifodasini yozib bering.
2. Bio-Savar-Laplas qonunining skalyar ko'rinishidagi ifodasini yozib bering.
3. To'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan zaryadning magnit maydoni qanday?
4. Chekli va cheksiz tokli to'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni qanday?
5. Tokli aylanma o'tkazgichning magnit maydoni qanday?
6. Vektor kattalikning biror yo'lda bajargan ishi nima?
7. Vektor maydon sirkulyatsiyasi nima? Magnit maydonnikichi?

8. Tokli o'tkazgich ichidagi maydon induksiyasi nimaga teng?

9. Solenoid va toroid o'zagidagi magnit induksiyasi ifodasini keltirib chiqaring.



§ 15. MAGNETIKLAR. MUHITNING MAGNIT XUSUSIYATLARI.

Magnitlanish vektori:

Oldingi mavzularda vakuum uchun magnit maydonni o'rgandik. Agar magnit maydoniga biror modda olib kirilsa, bu modda magnitlanib xususiy magnit maydon $\vec{B}'$ ni vujudga keltiradi. Shuning uchun, tekshirilayotgan moddadagi natijaviy magnit maydon induksiyasi $\vec{B}$ tashqi maydon induksiyasi $\vec{B}_0$ va moddaning xususiy maydon induksiyasi $\vec{B}'$ ning geometrik yig'indisidan iborat deyish mumkin.

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

Ko'pincha, $\vec{B}'$ maydonni modda ichidagi aylanma mikrotoklar tufayli hosil bo'luvchi ichki maydon induksiyasi deb, $\vec{B}_0$ maydonni esa makrotoklar tufayli hosil bo'luvchi vakuumdagi (muhitdan tashqaridagi) maydon induksiyasi deb ataladi. Barcha moddalar magnit maydoniga kiritilganda qandaydir darajada magnitlanadi. Shu sababdan moddalarning magnit xususiyatlarini o'rganishda "magnetik" terminini kiritamiz. Magnetiklarning magnit xususiyatlari atom tarkibidagi elementar zarralar (elektronlar, protonlar va neytronlar) harakati bilan aniqlanadi. Hisob-kitoblarga ko'ra elektronlarning magnit ta'siri proton va neytronlarnikiga qaraganda ancha kuchli bo'lar ekan.

Hozirgi zamonaviy tasavvurlarga ko'ra atomdagi elektronlar yadro atrofida orbitada hamda o'z o'qi atrofida xususiy aylanma harakatlarda ishtirok etar ekan. Shuning uchun, ham atom tarkibidagi elektronlar orbital $\vec{p}_{orb}$ va xususiy $\vec{p}_{spin}$ magnit momentlarga ega bo'lar ekan. Atomning natijaviy magnit momenti atom tarkibidagi elektronlarning orbital va xususiy magnit momentlarining geometrik yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$\vec{p}_{ai} = \sum \vec{p}_{orb} + \sum \vec{p}_{spin}$$

Tashqi magnit maydon ta'siriga uchramagan magnetik atomlarining magnit momentlari betartib bo'lib, magnetik parchasidagi atomlarning natijaviy yig'indi magnit momenti nolga teng bo'ladi. Tashqi maydon ta'sirida ayrim atomlarning yo'nalishlari qayta oriyentatsiyalanadi, ya'ni magnit momentlar yo'nalishlari tartibga solinadi. Natijada, magnetik noldan farqli biror magnit momentiga ega bo'lib qoladi. Tashqi maydon ta'sirida turli magnetiklar turlicha magnitlanib, ularning magnitlanish darajasini xarakterlash uchun **magnitlanish vektori** tushunchasini kiritamiz.

Magnitlanish vektori biror elementar Δl hajmdagi barcha atomlarning magnit momentlarining geometrik yig'indisiga teng bo'lgan vektor kattalikdir.

$$\vec{J} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta V} \left[\frac{A}{m} \right]$$

Hisob-kitoblarga ko'ra, magnitlanish vektorining sirkulyatsiyasi mikrotoklar yig'indisiga teng bo'lar ekan.

$$\oint \vec{J} \cdot d\vec{\ell} = \sum I_M$$

Formuladan ko'rinadiki, magnetikka tashqi magnit ta'sir qilmaganda $J=0$, shuningdek $\sum I_M=0$ bo'ladi. Boshqacha aytganda, barcha yo'nalishlar teng ehtimoli bo'lgani uchun barcha yo'nalish atrofida aylanuvchi zaryadlar bir xil bo'lib, ularning

natijaviy ta'siri nolga tengdir. Magnit maydon ta'sir qilganda esa $J \neq 0$, shuningdek $\sum I_M \neq 0$ bo'ladi, ya'ni biror yo'nalish atrofida aylanuvchi zaryadlar ustunlik qiladi.

Magnit maydon kuchlanganligi:

Magnetiklardagi magnit maydonini o'rganishda biz ikki xil toklardan foydalanamiz. Ularning birinchisi o'tkazuvchanlik toki I bo'lib, uni makrotok deb ham ataladi. Ikkinchisi esa atom, molekula va ionlar ichidagi elektronlar harakati tufayli paydo bo'ladigan mikrotok I_M dir. **Mikrotoklar** elementar zaryadli zarralarning aylanma harakatidan paydo bo'luvchi **aylanma toklar**dir.

Vakuumdagi magnit maydoni faqat makrotoklar tufayli vujudga kelib, bu maydonning sirkulyatsiyasi $\oint \vec{B}_0 d\vec{\ell} = \mu_0 \sum I$ formuladan topilar edi. Magnetikdagi magnit maydon sirkulyatsiyasini hisoblashda makrotoklardan tashqari mikrotoklarni ham e'tiborga olish kerak bo'ladi.

$$\oint \vec{B} d\vec{\ell} = \oint (\vec{B}_0 + \vec{B}) d\vec{\ell} = \mu_0 (\sum I + \sum I_M)$$

Bu formula moddadaagi magnit maydoni uchun **to'liq tok qonuni** deb ataladi.

Mikrotok uchun $\oint \vec{J} \cdot d\vec{\ell} = \sum I_M$ ifodani e'tiborga olgan holda yuqoridagi formulani quyidagicha o'zgartib yozamiz:

$$\oint \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} \right) d\vec{\ell} = \sum I = \frac{1}{\mu_0} \oint \vec{B}_0 d\vec{\ell}$$

Bu formuladan

$$\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} = \vec{H}$$

deb belgilasak, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\oint \vec{H} d\vec{\ell} = \sum I = \oint \frac{\vec{B}_0}{\mu_0} d\vec{\ell}$$

Bu formuladan ushbu

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$$

formula kelib chiqadi. Yuqoridagi formulalarda kiritilgan $\vec{H}$ vektor **magnit maydon kuchlanganlik vektori** deyiladi.

Vakuumdagi magnit maydonning kuchlanganlik vektori magnit induksiya vektori bilan bir xil yo'nalib, lekin undan μ_0 marta farq qiladigan vektordir. Magnit maydon kuchlanganligi ham xuddi magnitlanish vektori o'lchami kabi $[A/m]$ da o'lchanadi. Induksiyasi $B = 4\pi \cdot 10^{-7} Tl$ bo'lgan magnit maydonining kuchlanganligi $H = 1 A/m$ ga teng bo'ladi.

Yuqoridagi $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}$ va $\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$ formulalarni tenglashtirishdan quyidagi formulani hosil qilish mumkin:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{J}$$

Aksariyat magnetiklarda $\vec{J}$ va $\vec{B}_0$ vektorlar yo'nalishdosh bo'lgani uchun, bu magnetiklar tashqi maydonni kuchaytiradi.

Magnit qa'bul qiluvchanlik va magnit singdiruvchanlik:

Tajribalardan aniqlanishicha, muhit izotrop bo'lsa, magnetikning ixtiyoriy nuqtasida $\vec{J}$ va $\vec{H}$ vektorlar quyidagicha bog'lanishga ega ekan:

$$\vec{J} = \chi_m \vec{H}$$

Bu yerda χ_m – magnetikning magnit xususiyatlarini ko'rsatuvchi kattalik bo'lib, uni *magnit qa'bul qiluvchanlik* deyiladi. $\vec{J}$ va $\vec{H}$ vektorlar o'lchamdosh kattaliklar bo'lgani uchun χ_m o'lchamsiz kattalikdir. χ_m musbat va manfiy qiymatlar qa'bul qilishi mumkin. $\vec{J}$ va $\vec{H}$ vektorlar parallel bo'lgan magnetiklarda $\chi_m > 0$, antiparallel bo'lgan o'tkazgichlarda esa $\chi_m < 0$ bo'ladi.

Yuqoridagi formulani $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}$ formulaga qo'yib $\vec{B}$ va $\vec{H}$ vektorli kattaliklar orasidagi munosabatni aniqlashimiz mumkin.

$$\vec{B} = (1 + \chi_m) \mu_0 \vec{H} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

Bu yerda: $\mu = 1 + \chi_m$ – muhitning *nisbiy magnit singdiruvchanligi* deb atalib, u o'lchamsiz kattalikdir. Bu kattalik magnetik magnit maydonni vakuumga nisbatan necha marta kuchaytirishini bildiradi. $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ ekanini hisobga olsak, yuqoridagi formulani quyidagicha yozish mumkin bo'ladi:

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} = \mu \vec{B}_0$$

Izotrop muhitlarda $\vec{H}$ vektor $\vec{B}$ vektori bilan bir xil yo'nalishga ega bo'lib, miqdor jihatidan esa ular $\mu \mu_0$ marta farq qiladi. Demak, magnetik muhit magnit induksiyasini μ marta kuchaytirar ekan.

Yuqoridagi keltirib chiqarilgan formulalardan ko'rinib turibdiki, magnit maydon kuchlanganligi vakuum uchun $\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$ bo'lsa, magnetik uchun $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu \mu_0} = \frac{\vec{B}}{(\vec{B} / \vec{B}_0) \mu_0} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$, ya'ni xuddi vakuum kabi bo'ladi. Demak, magnit kuchlanganligi vakuumda va magnetik muhitda bir xil bo'lar ekan, ya'ni magnetik muhit magnit kuchlanganlikni o'zgartira olmas ekan.

Xulosa qilib aytganda, magnit maydon kuchlanganligi faqat vakuumni xarakterlasa, magnit maydon induksiyasi esa vakuumni va magnetik muhitni xarakterlar ekan.

Magnit maydon kuchlanganligi va induksiyasining ma'nosi:

Magnit induksiyasi magnit chiziqlarining qanchalik zich, tig'is joylashganligini bildiradi. Magnit induksiyasining qiymati katta joyda induksiya chiziqlari ham zichroq joylashagan bo'ladi. Boshqacha aytganda, magnit induksiyasi 1 sm^2 yuzadan tik holda o'tuvchi chiziqlar soniga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni $B \sim \frac{N}{S}$ bo'ladi. Aytaylik, induksiya $B_1 = 1 \text{ Tl}$ bo'lgan nuqtada har 1 sm^2 yuzadan tik holda $N_1 = 1 \text{ mln. ta}$ induksiya chiziqlari kesib o'tadi deb faraz qilsak, induksiyasi $B_2 = 2 \text{ Tl}$ bo'lgan boshqa bir nuqtada esa har 1 sm^2 yuzadan tik holda $N_2 = 2 \text{ mln. ta}$ induksiya chiziqlari kesib o'tadi deyish mumkin bo'ladi.

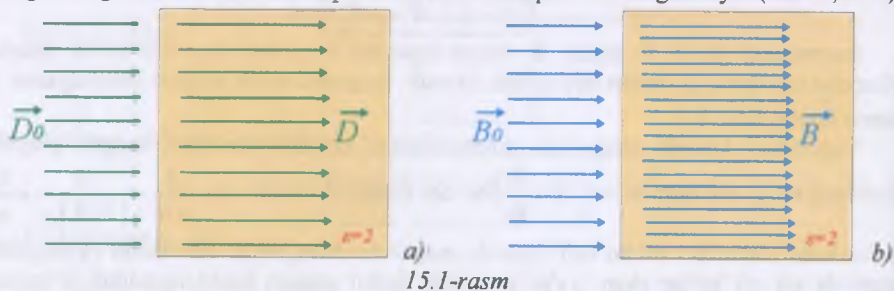
Xuddi magnit induksiyasi kabi, magnit maydon kuchlanganligi ham kuchlanganlik chiziqlarining qanchalik zich, tig'is joylashganligini bildiradi. Magnit kuchlanganligining

qiymati katta joyda kuchlanganlik chiziqlari ham zichroq joylashagan bo'ladi. Boshqacha aytganda, magnit kuchlanganligi 1 sm^2 yuzadan tik holda o'tuvchi chiziqlar soniga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni $H \sim \frac{N}{S}$ bo'ladi. Aytaylik, kuchlanganligi $H_1 = 1 \text{ A/m}$ bo'lgan

nuqtada har 1 sm^2 yuzadan tik holda $N_1 = 1 \text{ trl.}$ dona kuchlanganlik chiziqlari kesib o'tadi deb faraz qilsak, kuchlanganligi $H_2 = 2 \text{ A/m}$ bo'lgan boshqa nuqtada esa har 1 sm^2 yuzadan tik holda $N_2 = 2 \text{ trl.}$ dona kuchlanganlik chiziqlari kesib o'tadi deyish mumkin bo'ladi.

Magnit induksiyasi va kuchlanganligining qiymatlari katta bo'lgan nuqtada induksiya va kuchlanganlik chiziqlari ham tig'isroq bo'ladi. Shu boisdan bu nuqtada maydonning ta'siri ham kuchliroq bo'ladi. Kuchlanganlik va induksiya chiziqlari taqoqlashib, sochilib ketayotgan joyda maydon ham susayib borayotgan bo'ladi. Kuchlanganlik va induksiya chiziqlari yig'ilishib, to'planib borayotgan joyda maydon ham kuchayib borayotgan bo'ladi. Kuchlanganlik va induksiya chiziqlari parallel bo'lgan joyda esa maydon o'zgarishi bo'lmaydi va bu maydonni *bir jinsli maydon* deyiladi.

Magnetik muhit kuchlanganlikning qiymatini o'zgartirmaganligi uchun kuchlanganlik chiziqlar zichligi ham vakuumdan muhitga o'tganda o'zgarmaydi. Vakuumda kuchlanganlik chiziqlar soni $N_1 = 10 \text{ trl.}$ dona bo'lsa, magnit singdiruvchanligi ixtiyoriy μ bo'lgan magnetik muhitda ham $N_2 = 10 \text{ trl.}$ dona chiziqlar soni o'zgarmaydi (15.1-a,rasm).



15.1-rasm

Magnetik muhit magnit induksiyasining qiymatini μ marta o'zgartirganligi uchun induksiya chiziqlar zichligi ham vakuumdan muhitga o'tganda μ marta o'zgaradi. Vakuumda induksiya chiziqlar soni $N_1 = 10 \text{ mln.}$ dona bo'lsa, magnit singdiruvchanligi ixtiyoriy $\mu = 2$ bo'lgan magnetik muhitda esa induksiya chiziqlar soni $N_2 = \mu N_1 = 20 \text{ mln.}$ dona bo'ladi, ya'ni induksiya chiziqlar zichlashadi (15.1-b,rasm).

Magnetiklarning magnit xususiyatlari:

Magnetiklar magnit xussiyatlariga ko'ra 3 xil bo'ladi: 1) diamagnetiklar; 2) paramagnetiklar; 3) ferromagnetiklar.

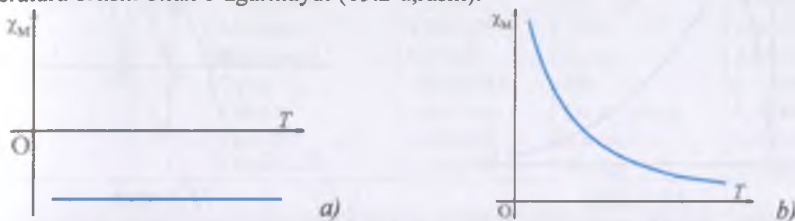
1) Diamagnetiklar:

Orbita bo'ylab aylanma harakat qilayotgan elektron tashqi magnit maydon ta'sirida tashqi $\vec{B}$ vektorga qarama-qarshi yo'nalgan qo'shimcha $\Delta \vec{p}$ magnit momentga ega bo'lish hodisasiga *diamagnit effekt* deyiladi.

Diamagnetiklar atomlarining magnit momentlari nolga teng bo'lib, tashqi magnit maydoni ta'sir etmaganda bu atomlar tarkibidagi elektronlar magnit momentlari bir-birini kompensatsiyalaydi. Maydon ta'sir etganda esa diamagnetik effekt tufayli atomlarning

tarkibidagi ayrim elektronlar oladigan qo'shimcha magnit momentlarining qo'shilishi natijasida atomda tashqi magnit maydoniga qarma-qarshi yo'nalgan magnit moment paydo bo'ladi. Natijada atomlarning magnit momentlari qo'shilib tashqi magnit maydonni biroz susaytiradi.

Diamagnetiklarda magnit qa'bul qiluvchanlik manfiy ($\chi_v < 0$) bo'ladi. Masalan, suv uchun $\chi_v = -9 \cdot 10^{-6}$ ga teng. Boshqa diamagnetiklarning magnit qa'bul qiluvchanligi ham shu atrofda bo'ladi. Diamagnetiklarning nisbiy magnit singdiruvchanligi esa birdan biroz kichik, ya'ni $\begin{cases} \mu < 1 \\ \mu \approx 1 \end{cases}$ bo'ladi. Diamagnetiklarda magnit qa'bul qiluvchanlikning qiymati temperatura ortishi bilan o'zgarmaydi (15.2-a,rasm).



15.2-rasm

2) Paramagnetiklar:

Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda modda atomlarining magnit momentlari noldan farq qilsa, bunday moddalar magnit maydoniga joylashtirilganda atomlarning magnit momentlari maydon bo'ylab tartiblanishga intiladi. Bunday hodisaga **paramagnetik effekt** deb ataladi. Demak, paramagnetik effekt natijasida tashqi maydonning biroz kuchayishi kuzatilish kerak. Issiqlik harakati esa tartibli joylashuv (paramagnetik effekt)ni buzishga intiladi. Temperatura qancha yuqori bo'lsa, atomlarning magnit momentlari tartibli joylashuvchiga to'sqinlik shuncha yuqori bo'ladi. Demak, paramagnetiklar deb ataluvchi moddalarda temperatura ortishi bilan magnit qa'bul qiluvchanlikning qiymati kamayib borar ekan (15.2-b,rasm).

$$\chi_v = \frac{C}{T}$$

Bu yerda C – berilgan paramagnetik uchun o'zgarmas bo'lib, Kyuri doimiysi deyiladi. Juda past temperaturalarda yuqoridagi Kyuri qonunidan chetga chiqishlar sodir bo'ladi.

Paramagnetiklarda ham diamagnetik effekt kuzatiladi, lekin paramagnetik effektga nisbatan ancha sustroq. Shuning uchun, paramagnetik effektning natijaviy ta'siri ustunlik qiladi.

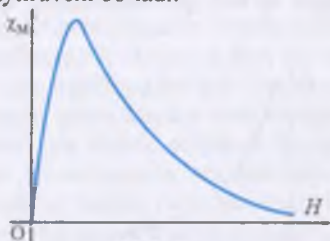
Paramagnetiklarda magnit qa'bul qiluvchanlik musbat ($\chi_v > 0$) bo'ladi. Masalan, havo uchun $\chi_m = 3,8 \cdot 10^{-7}$ ga teng. Boshqa paramagnetiklarning magnit qa'bul qiluvchanligi ham shu atrofda bo'ladi. Paramagnetiklarning nisbiy magnit singdiruvchanligi esa birdan biroz katta, ya'ni $\begin{cases} \mu > 1 \\ \mu \approx 1 \end{cases}$ bo'ladi.

3) Ferromagnetiklar:

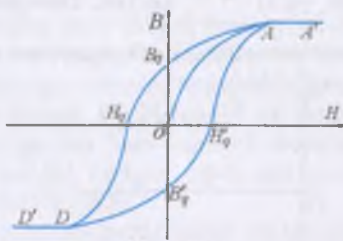
O'zining magnit xossalari bilan diamagnetik va paramagnetiklardan keskin ajralib turuvchi uchinchi tur magnetiklarga **ferromagnetiklar** deyiladi. Bu xususiyat birinchi

bo'lib temir va uning qotishmalarida aniqlangani uchun shunday (Ferrum—lotinchi temir degani) nomlangan. Ferromagnetiklar uchun quyidagi xususiyatlarni sanash mumkin:

a) Ferromagnetiklar uchun magnit qabul qiluvchanlikning qiymati χ_m ning qiymati tashqi magnit maydon H ga bog'liq ravishda juda tez o'suvchan (15.3-rasm). Biror maksimumga erishgach, tashqi maydon yana kuchaytirilsa, χ_m ning qiymati kamayishi kuzatiladi. Barcha ferromagnetiklarda o'rtacha tashqi magnit maydonda χ_m va μ ning qiymatlari birdan ancha katta, ya'ni tashqi magnit maydonni juda ko'p marta kuchaytiruvchi bo'ladi.



15.3-rasm



15.4-rasm

b) Ferromagnetik ichidagi magnit maydon induksiyasining tashqi magnit maydon kuchlanganligiga bog'liqligi 15.4-rasmdagi OA egri chizig'i bo'yicha ortadi. Maydon kuchlanganligi yanada oshirilsa, magnit induksiyasi ortmasdan AA' gorizontaal chiziq bo'yicha boradi, ya'ni A nuqtadan boshlab magnit induksiyasining to'yinishi kuzatiladi. Endi maydon kuchlanganligini nolgacha kamaytirsak AO egri chizig'i o'miga AB_K egri chiziq bo'yicha kamayadi. $H=0$ da OB_K ga teng miqdorda qoldiq magnit induksiya saqlanib qoladi, ya'ni tashqi magnit butunlay to'xtatilganda ham ferromagnit ichida qoldiq induksiya mavjud bo'ladi. Ferromagnit ichida magnit induksiyasini butunlay yo'qotish uchun esa tashqi maydon kuchlanganligi OH_K ga teng miqdorda teskari yo'nalgan bo'lishi kerak. Teskari yo'nalishdagi maydon kuchlanganligi yanada oshirilsa, H_KD egri chiziq bo'yicha magnit induksiyasi ham teskari yo'nalishda oshadi. Lekin, D nuqtadan boshlab magnit induksiyasining to'yinishi kuzatiladi. Kuchlanganlik yanada oshirilsa, induksiya DD' gorizontaal chiziq bo'yicha boradi. Tashqi maydon kuchlanganligining miqdor va yo'nalishi o'zgartirilganda $AB_KH_KDB'_KH'_KA$ egri chizig'i paydo bo'ladi. Bu yopiq chiziqni **gizterezis sirtmog'i** deyiladi. Gizterezis sirtmog'ining yuzasi ferromagnetikni magnitlashda bajrilgan ishga teng bo'ladi. Gizterezis sirtmog'i ensiz (yuza kichik) bo'lsa, yumshoq ferromagnetik, o'rtacha bo'lsa (yuza o'rtacha), o'rtacha ferromagnetik va yo'g'on (yuza katta) bo'lsa, qattiq ferromagnetik bo'ladi.

c) Har bir ferromagnetik uchun ferromagnetiklik xususiyatini yo'qotadigan Kyuri temperaturasi (T_K) deb ataluvchi temperatura mavjuddir. Kyuri temperaturasining qiymati temir uchun $T_K = 1043\text{ K}$ ($t = 770^\circ\text{C}$), nikel uchun $T_K = 631\text{ K}$ ($t = 358^\circ\text{C}$), kobalt uchun esa $T_K = 1270\text{ K}$ ($t = 997^\circ\text{C}$) ga teng. Kyuri temperaturasidan yuqori temperaturada barcha ferromagnetiklar paramagnetikka aylanadi. Natijada, hosil bo'lgan paramagnetikning magnit qabul qiluvchanligi temperaturaga bog'liqligi

$$\chi_m = \frac{C}{T - T_K}$$

formula bo'yicha o'zgaradi. Bu yerda: C – Kyuri doimiysi bo'lib, u $T > T_K$ da o'rinni. Oddiy paramagnetiklarning paramagnetikligi $0K$ temperaturadan boshlansa, ferromagnetiklarning paramagnetikligi esa Kyuri temperaturasi T_K dan boshlandi.

15.1-jadvalda magnetiklarning nisbiy magnit singdiruvchanliklaridan namunalari berilgan.

15.1-jadval

Ferromagnetlar	μ	Paramagnetiklar	μ	Diamagnetiklar	μ
Po'lat	8000	Azot	1.0000000013	Vodorod	0.999999937
Nikel		Xavo	1.000000038	Suv	0.9999991
Kobalt		Kislorod	1.00000019	Vismut	0.999824
Ferritlar	25000	Alyuminiy	1.000023	Osh tuzi	0.999987
		Volfram	1.000175	Oltin	0.999963
		Marganets	1.0038	Kvars	0.999985
		Qalay	1.0000044	Mis	0.999991
		Platina	1.000366	Qo'rg'oshin	0.999987
		Palladiy	1.000692	Kumush	0.999981
		Ebonit	1.000014	Shisha	0.999987



1. Magnetik ichidagi natijaviy madon qaysi maydonlar yig'indisiga teng? Atomdagi umumiy magnit moment qaysi momentlar yig'indisiga teng?
2. Magnitlanish vektori deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o'lchov birligini ayting.
3. Magnit qabul qiluvchanlik va dielektrik singdiruvchanlik tushunchalariga ta'rif keltiring. Ularni bog'lovchi formulani yozing.
4. Magnit induksiyasi va magnit maydon kuchlanganligini bog'lovchi formulani yozing hamda ular nimani anglatishini tushuntiring.
5. Magnitlarning necha xil turi bor? Ularning har biri uchun χ va μ kattaliklarning qiymatlarini aytib bering.
6. Diamagnetik va paramagnetiklarning temperaturaga bog'liqlik garfigi qanday? Ferromagnetik magnit qabul qiluvchanligining tashqi maydon kuchlanganligiga bog'lanish garfigi qanday?
7. Kyuri temperaturasi nima? Bu temperaturadan yuqori temperaturada ferromagnetik bo'lishi mumkinmi?



§ 16. LORENTS KUCHI. MAGNIT MAYDONDAGI ZARYADLI ZARRANING TRAEKTORIYASI

Lorens kuchi va uning yo'nalishi:

Magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichga ta'sir qiladigan Amper kuchining vujudga kelish sababini Gollandiyalik nazariyotchi olim Xendrik Anton Lorents (1853–1928) quyidagicha izohlaydi: o'tkazgichda tokni hosil qilayotgan tartibli harakatlanayotgan zaryadli zarralarga magnit maydoni ta'sir qiladi. Lekin, bu zaryadli zarralar o'tkazgich sirtini tark etib keta olmaydi, ya'ni o'tkazgich sirti bilan chegaralangan hajm ichida harakatlana oladi. Bu zaryadli zarralarga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuchlar qo'shib yig'indi kuch–Amper kuchini hosil qiladi. Shuning uchun, amper qonunidan foydalanib tokli o'tkazgich ichida harakatlanayotgan bitta elementar q zaryadga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlash mumkin bo'ladi.

Bir jinsli magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarraga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuchga Lorents kuchi deyiladi.

Boshqacha aytganda, Amper kuchi tokli o'tkazgichdagi N ta zaryadli zarraga ta'sir qiluvchi kuch bo'lsa, Lorents kuchi esa bitta zaryadli zarraga ta'sir qiluvchi kuch ekan. Demak, Lorents kuchi Amper kuchidan N marta kichik ($F_L = \frac{F_A}{N}$) degan xulosaga kelish

mumkin ekan. O'tkazgichdagi tok kuchini

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{Nq}{\ell/\vartheta} = \frac{Nq\vartheta}{\ell} = \frac{Nq\vartheta S}{V} = nq\vartheta S$$

deb o'zgartiramiz. Endi Lorents kuchi uchun formulani keltirib chiqaramiz. Natijada, biz

$$F_L = \frac{F_A}{N} = \frac{BI\ell \sin \alpha}{N} = \frac{B(nq\vartheta S)\ell \sin \alpha}{N} = q\vartheta B \sin \alpha \frac{nS\ell}{N} = q\vartheta B \sin \alpha$$

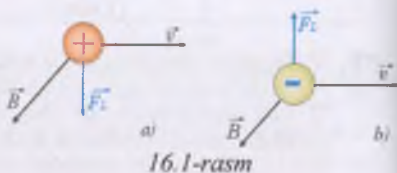
formulaga ega bo'lamiz.

Demak, Lorents kuchining qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$F_L = qvB \sin \alpha$$

Magnit maydonida harakatlanayotgan elektr zaryadga ta'sir etuvchi kuch, shu zaryad miqdori, zaryad tezligi, magnit maydon induksiya vektori, tezlik bilan induksiya vektori orasidagi burchak sinusi ko'paytmasiga teng.

Lorents kuchi yo'nalishi Amper kuchi bilan mos tushadi. Lorents kuchi yo'nalishi $\vec{F}_L$ magnit induksiya vektori $\vec{B}$ va zaryadning harakat yo'nalishi $\vec{v}$ yotgan tekislikka perpendikulyar yo'nalgan bo'lib, uning yo'nalishi Amper kuchi kabi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi.



Agar chap qo'limizni V magnit induktsiyasining zaryad tezligiga perpendikulyar bo'lgan tashkil etuvchisi kaftimizga kiradigan qilib tutib, yoyilgan to'rt barmog'imiz musbat zaryad yo'nalishida (manfiy zaryad yo'nalishiga teskari yo'nalish) ochilsa, 90° ga kerilgan bosh barmog'imiz zaryadga ta'sir etuvchi F_L Lorens kuchining yo'nalishini ko'rsatadi (16.1-rasm).

Zaryadli zarra harakatining har onida Lorents kuchi yo'nalishi magnit maydon yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgani uchun, ya'ni kuch va ko'chish orasidagi burchak har doim 90° ga teng bo'lgani uchun Lorents kuchining bajargan ishi har doim nolga teng bo'ladi. Lorens kuchi zarraning kinetik energiyasini va tezligining miqdorini o'zgartirmaydi, faqat tezlik yo'nalishini tinimsiz o'zgartiradi.

Magnit maydondagi zaryadli zarraning traektoriyasi:

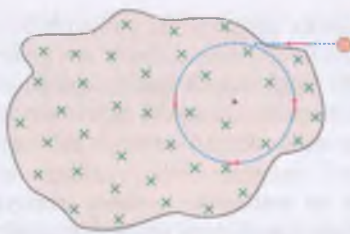
Agar zaryadli zarra bir jinsli magnit maydmiga tik ravishda uchib kirs, Lorents kuchi zarraning harakat yo'nalishini tinimsiz burgani uchun uning traektoriyasi aylanadan iborat bo'ladi. Bu aylanma harakat qaysi yo'nalishda (soat strelkasi bo'yichami yoki unga teskari yo'nalishdami) sodir bo'lishini chap qo'l qoidasidan osongina aniqlash mumkin. 16.2-rasmda bizdan yo'nalgan magnit maydoniga tik holda uchib kirgan musbat va manfiy zaryadli zarraning traektoriya yo'nalishi tasvirlangan.

Agar bir jinsli magnit maydon induksiya vektori bizdan yo'nalgan bo'lib, unga tik uchib kiruvchi zaryad manfiy bo'lsa, aylanish traektoriyasi soat strelkasi bo'yicha bo'ladi.

Agar bir jinsli magnit induksiya vektori bizdan yo'nalgan bo'lib, unga tik uchib kiruvchi zaryad musbat bo'lsa, aylanish traektoriyasi soat strelkasiga teskari yo'nalish bo'yicha bo'ladi.



a)
16.2-rasm



b)

Bir jinsli magnit maydoniga tik holda uchib kirgan zaryadli zarra traektoriyasining aylanish radiusi, aylanish davri va aylanish chastotasini aniqlash mumkin. Bunda traektoriya aylanadan iborat bo'lib, markazga intilma kuch vazifasini Lorens kuchi bajaradi. Lorens kuchi va markazdan qochma inersiya kuchi o'zaro teng bo'ladi. Bundan foydalanib so'ralgan kattaliklarni aniqlash mumkin (16.3-rasm).

$$F_{\text{qoch}} = F_L, \rightarrow \frac{m g^2}{R} = q g B, \rightarrow R = \frac{m g}{q B}$$

Tezlik uchun $g = \frac{2\pi R}{T}$ formuladan foydalanib aylanish davrini topamiz.

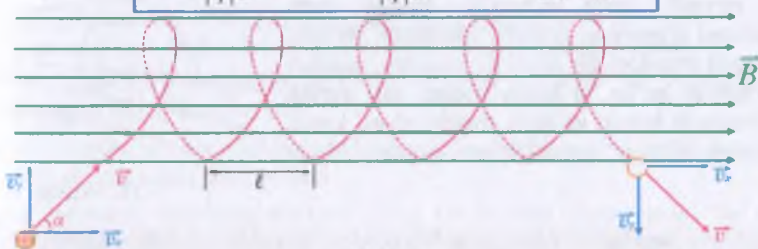
$$R = \frac{m g}{q B} = \frac{m}{q B} \frac{2\pi R}{T}, \rightarrow T = 2\pi \frac{m}{|q| B}$$

$\nu = \frac{1}{T}$ dan foydalanib aylanish chastotasini aniqlaymiz.

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \frac{|q| B}{m}$$

Demak, B induksiya chiziqlariga tik ravishda g tezlik bilan uchib kirgan m massali q zaryadning aylanish radiusi r , aylanish davri T , aylanish chastotasi ν quyidagicha:

$$R = \frac{m g}{|q| B}, \quad T = 2\pi \frac{m}{|q| B}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \frac{|q| B}{m}$$



16.4-rasm

Agar zaryadli zarra bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida uchib kirs, uning trayektoriyasi o'zgarmas qadamlı vintsimon bo'ladi (16.4-rasm). Magnit maydoni tezlik vektorining maydoni yo'nalishiga perpendikulyar tashkil etuvchisi g_y ga Lorens kuchi bilan ta'sir qiladi va bu tashkil etuvchining miqdorini o'zgartirmasdan, uning yo'nalishini tinimsiz o'zgartiradi, ya'ni g_y tashkil etuvchini aylantiradi. Magnit maydoni tezlik vektorining maydoni yo'nalishiga parallel tashkil etuvchisi g_x ga ta'sir etmaydi.

Boshqacha aytganda, bu yo'nalish bo'yicha zaryadli zarra teng vaqtlarda teng masofaga siljiydi. Bu siljish masofasini *vint qadami* deyiladi.

Bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida kirgan zaryadli zarra traektoriyasining aylanish radiusi, aylanish davri va aylanish chastotasi va vint qadamini zaryadli zarra tik holda uchib kirgan holadgi kabi aniqlash mumkin. Bunda trayektoriya o'zagarmas qadamli vintsimon bo'lib, markazga intilma kuch vazifasini Lorens kuchi bajaradi. Lorens kuchi va markazdan qochma inersiya kuchi o'zaro teng bo'ladi. Bundan foydalanib so'ralgan kattaliklarni aniqlash mumkin.

$$F_{qoch} = F_L, \rightarrow \frac{m g_z^2}{R} = q g_z B, \rightarrow R = \frac{m g_z}{q B} = \frac{m g \sin \alpha}{q B}$$

Tezlik uchun $g_z = \frac{2\pi R}{T}$ formuladan foydalanib aylanish davrini topamiz.

$$R = \frac{m g_z}{q B} = \frac{m}{q B} \frac{2\pi R}{T}, \rightarrow T = 2\pi \frac{m}{|q| B}$$

$\nu = \frac{1}{T}$ dan foydalanib aylanish chastotasini aniqlaymiz.

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \frac{|q| B}{m}$$

Vint qadami esa

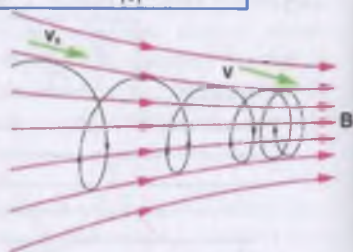
$$\ell = g_z T = 2\pi \frac{m}{|q| B} g \cos \alpha$$

bo'ladi.

Demak, B induksiya chiziqlariga α burchak ostida g tezlik bilan uchib kirgan m massali q zaryadning aylanish radiusi r , aylanish davri T , aylanish chastotasi ν va vint qadami ℓ quyidagicha bo'lar ekan (16.4-rasm):

$$R = \frac{m g \sin \alpha}{|q| B}, \quad T = 2\pi \frac{m}{|q| B}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \frac{|q| B}{m}, \quad \ell = 2\pi \frac{m}{|q| B} g \cos \alpha$$

Yuqoridagi formula 16.4-rasmdagi ko'rsatilgan bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida uchib kirgan zaryadli zarra uchundir. Bunda zarra trayektoriyasi o'zgarmas qadamli vintsimon bo'ladi. Agar magnit maydoni bir jinsli bo'lmagan, miqdori ortib boruvchi bo'lsa, u holda borgan sari egrilik radiusi kamayib boradi va zarra trayektoriyasi konus sirti bo'ylab olingan trayektoriyani eslatadi (16.5-rasm).



16.5-rasm



1. Lorens kuchi nima? Uning yo'nalishi qanday? Lorens kuchi ish bajaradimi?
2. Bir jinsli magnit maydoniga tik ravishda uchib kirgan musbat va manfiy ishorali zaryadli zarralarning traektriyalari qanday?
3. Bir jinsli magnit maydoniga tik ravishda uchib kirgan zaryadli zarra uchun erilik radiusi, aylanish davri va chastotasini aniqlash formulalari qanday?
4. Bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida uchib kirgan zaryadli zarraning traektoriyasi qanday? Bunda erilik radiusi, aylanish davri va chastotasini aniqlash formulalari qanday bo'ladi?
5. Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonga burchak ostida uchib kirgan zaryadli zarraning traektoriya ko'rinishi qanday bo'o'ladi?



§ 17. MAGNIT OQIMI. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA HODISASI. LENS QOIDASI.

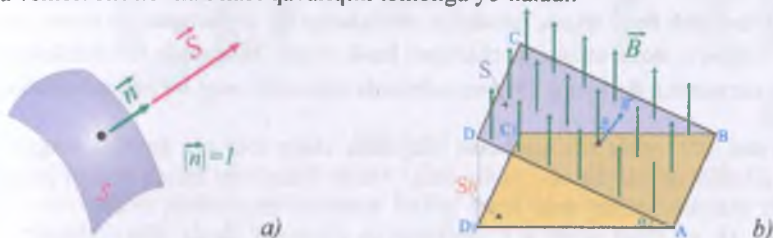
Magnit maydon induksiyasi induksiya chiziqlari zichligini bildirar edi. Yuzani kesib o'tuvchi jami induksiya chiziqlar sonini bildiruvchi yana bir kattalik borki, buni magnit induksiya oqimi deyiladi.

Yuza normal va yuza vektori :

Ixtiyoriy shakldagi yuza berilgan bo'lsin. Bu yuzaga tik holda va sirtning qavariqlik tomoniga (egrilik tashqarisiga) yo'nalgan hamda birlik uzunlikka ($|\vec{n}|=1$) ega bo'lgan perpendikulyar vektor o'tkazamiz. Bu vektorni *sirtning normal* deyiladi. Sirt normalini sirt yuziga ko'paytmasiga teng bo'lgan vektor kattalikka *yuza vektori* deyiladi (17.1-a,rasm).

$$\vec{S} = S \cdot \vec{n}, \quad |\vec{n}| = 1$$

Yuza vektori sirt normali kabi qavariqlik tomonga yo'naladi.



17.1-rasm

Magnit oqimi va uning ma'nosi:

Yuzasi S bo'lgan ixtiyoriy shakldagi tekis sirtni magnit maydoniga kiritaylik. Magnit maydon induksiya vektori $\vec{B}$ hamda sirt normali orasidagi burchak α ga teng bo'lsin. Magnit induksiya vektori va yuza vektorining skalyar ko'paytmasiga teng bo'lgan skalyar kattalikka yuzadan o'tuvchi magnit induksiya oqimi deyiladi (17.1-b,rasm).

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = \vec{B} \cdot (S \vec{n}) = BS \cos \alpha$$

Bu yerda: $\alpha = \vec{B} \wedge \vec{n}$ – induksiya vektori va sirt normali orasidagi burchak.

Agar sirt induksiya chiziqlariga tik bo'lsa, u holda $\alpha = 0^\circ$ bo'lib, yuzada eng katta $\Phi_{\max} = BS$ magnit oqimi hosil bo'ladi.

Agar sirt induksiya chiziqlariga parallel bo'lsa, u holda $\alpha = 90^\circ$ bo'lib, yuzada eng kam $\Phi_{\min} = 0$ magnit oqimi hosil bo'ladi.

Magnit induksiya oqimining o'lchov birligi Vb (Veber). Agar yuzasi $1m^2$ bo'lgan kontur induksiyasi $1Tl$ bo'lgan magnit maydonida induksiya chiziqlariga tik holda turgan bo'lsa, yuzada $1Vb$ magnit induksiya oqimi hosil bo'ladi.

$$1Vb = 1Tl \cdot 1m^2$$

Magnit induksiya oqimini miqdoriy baholaylik. Avvalgi mavzularda magnit induksiyasi induksiya chiziqlar zichligini anglatishi bilan, ya'ni $B = \frac{N}{S}$ ekanligi bilan tanishganmiz. $\Phi = BS$ formulaga asosan, magnit induksiya oqimi yuzadan o'tuvchi

Vilgelm Eduard Veber 2804-yil 24-oktyabrda Saksaniyaning Kurfyurshestvo shaharchasida dunyoga kelgan. U 1826-yil Galle universitetini tamomlaydi va shu yil doktorlik darajasini oladi. 1845-yildan boshlab umrining oxirigacha Gyottingen universitetida faoliyat olib borgan. Veber birinchi bo'lib elektromagnit telegraf qurilmasini yaratdi. Uning asosiy ishlari elektr va magnit sohasida msh olib borgan. 1856-yil zaryadning elektr o'lchamtdagi va magnit o'lchamidagi kattaliklari nisbati yorug'lik tezligiga tengligini aniqladi. Veber ikkita harakatlanayotgan zaryadning o'zaro ta'siri nafaqat zaryad kattaligiga, balki zaryadlarning tezligiga ham bog'liq bo'lishini aniqladi. U uzoqdan ta'sir pirnsipi tarafdori edi. Hozirda Magnit induksiya oqimining o'lchov birligi uning nomi bilan Veber deb ataladi. U 1891-yil 86 yoshida Germaniyaning Gyottingen shahrida vaot etadi.



Vilgelm Eduard Veber
(1804–1891)

jami induksiya chiziqlar sonini anglatadi, ya'ni $\Phi \sim N$ bo'ladi. Aytaylik, induksiya $B = 171$ bo'lgan nuqtada har 1 m^2 yuzadan tik holda $N = 1 \text{ ml.n.}$ dona induksiya chiziqlari kesib o'tadi deb faraz qilsak, induksiya chiziqlariga tik joylashgan $S = 15 \text{ m}^2$ yuzadan esa $N_{\text{uzunlik}} = 15 \text{ ml.n.}$ dona induksiya chiziqlari kesib o'tadi. Haqiqatda esa induksiya chiziqlar sonini sanashning iloji yo'q. O'rganuvchilarda tushunish oson bo'lish uchun shunday yo'l tutiladi.

Ersted 1821-yilda o'z tajribalari natijasida elektr toki o'z atrofida magnit maydoni hosil qilishini aniqlagan edi. Ingliz fizigi Maykl Faradeyni bunga teskari jarayon, ya'ni magnit maydoni elektr toki hosil qilishi mumkin emasmikan degan savol qiziqitirdi. Oradan 10 yil vaqt o'tib o'z tajribalariga tayangan holda elektromagnit induksiya hodisasini aniqladi va elektromagnit induksiya qonunini kashf etdi.

Elektromagnit induksiya hodisasi:

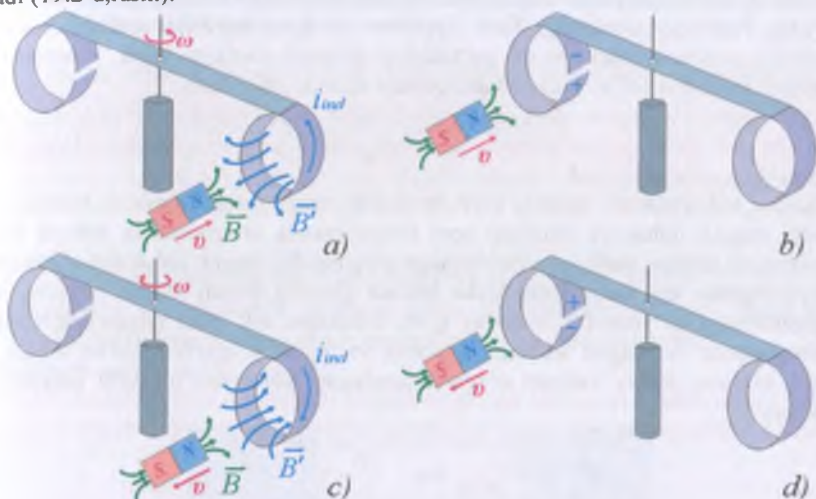
Igna ustida erkin aylanuvchi sterjenga ikkita alyuminiy xalqa mahkamlangan bo'lsin. Xalqalardan biri berk, ikkinchisi esa uzoq bo'lsin. Berk xalqaga magnit sterjenni yaqinlashtirganimizda xalqa undan itarilib aylanib ketadi (19.2-a,rasm). Uzoq xalqaga yaqinlashtirganda esa hech narsa sodir bo'lmaydi (19.2-b,rasm). Berk xalqaga magnitni yaqinlashtirganda xalqaning magnitdan itarilish sababini quyidagicha izohlashimiz mumkin:

Magnit yaqinlashayotganda berk xalqada qandaydir tok hosil bo'ladi va bu tok o'z atrofida ikkilamchi B' maydonni hosil qiladi. B' maydon B maydonga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lgani uchun ular itarishadi (19.2-a,rasm). Magnitni uzoq xalqaga yaqinlashtirganda esa xalqa uzuqligi uchun aylanma tok hosil bo'la olmaydi, faqat uzoq joy qarama-qarshi zaryadlanib turadi xolos, ya'ni xalqaning uzilgan nuqtalari orasida potentsiallar hosil bo'ladi (19.2-b,rasm).

Endi berk xalqa yaqinida turgan magnit sterjenni xalqadan uzoqlashtirganimizda xalqa magnitga tortilib unga ergashadi, ya'ni bu holda xalqa qarama-qarshi tomonga aylanadi (19.2-c,rasm). Uzoq xalqadan uzoqlashtirganda esa hech narsa sodir bo'lmaydi (19.2-d,rasm). Berk xalqadan magnitni uzoqlashtirganda xalqaning magnitga tortilib ergashish sababini quyidagicha izohlashimiz mumkin:

Magnit uzoqlashayotganda berk xalqada qandaydir tok hosil bo'ladi va bu tok o'z atrofida ikkilamchi B' maydonni hosil qiladi. B' maydon B maydon bilan yo'nalishdosh bo'lgani uchun ular tortishadi (19.2-c,rasm). Magnitni uzoq xalqadan uzoqlashtirganda esa xalqa uzuqligi uchun aylanma tok hosil bo'la olmaydi, faqat uzoq joy qarama-qarshi

zaryadlanib turadi xolos, ya'ni xalqaning uzilgan nuqtalari orasida potentsiallar hosil bo'ladi (19.2-d,rasm).



19.2-rasm

Berk kontur (yoki sim g'altak) yuzasini kesib o'tuvchi magnet oqimi (induksiya chiziqlari soni) o'zgarganda konturda tok hosil bo'lish hodisasiga elektromagnit induksiya hodisasi deyiladi. Hosil bo'lgan tokni induksion tok deyiladi.

Aytaylik, magnet sterjennning qutbidan jami $N=10\text{mld.}$ dona magnet induksiya chiziqlari chiqayotgan bo'lsin. Magnet sterjen xalqadan uzoqda joylashganda xalqa yuzasini $N_1=1\text{mld.}$ dona magnet induksiya chiziqlari, xalqaga yaqin kelganda esa $N_2=N=10\text{mld.}$ dona magnet induksiya chiziqlari kesib o'tsin. Bunda kontur yuzasini kesib o'tuvchi magnet chiziqlar soni $\Delta N=9\text{mld.}$ donaga o'zgaradi (oshadi yoki kamayadi). Magnet sterjen xalqaga yaqinlashayotganda $\Delta N=9\text{mld.}$ bo'ladi, ya'ni yuzani kesib o'tuvchi magnet chiziqlar soni oshadi. Magnet sterjen xalqadan uzoqlashayotganda esa $\Delta N=-9\text{mld.}$ bo'ladi, ya'ni yuzani kesib o'tuvchi magnet chiziqlar soni kamayadi. Agar yuzadan o'tuvchi ana shu kuch chiziqlar soni o'zgarishi biror t vaqtda ro'y berganda (magnet sterjenni xalqaga t vaqtda yaqinlashtirganda yoki uzoqlashtirganda) konturda i tok vujudga kelsa, kuch chiziqlar soni o'zgarishi $t/2$ vaqtda ro'y berganda (magnet sterjenni xalqaga $t/2$ vaqt davomida yaqinlashtirganda yoki uzoqlashtirganda) esa konturda $2i$ tok vujudga keladi. Konturda qancha katta induksion tok hosil bo'lsa, uning ikkilamchi B' maydoni ham shuncha kuchli bo'lib, asosiy B maydon bilan ta'siri (tortishi yoki itarishi) ham shuncha kuchli bo'ladi.

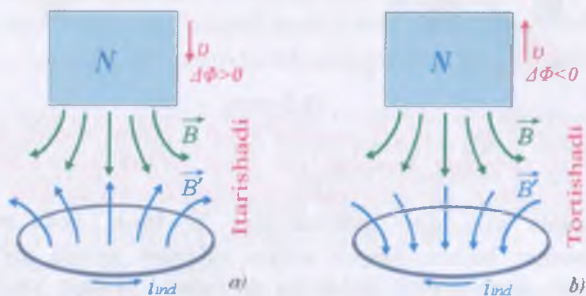
Boshqacha aytganda, konturni kesib o'tadigan magnet oqimi (induksiya chiziqlari soni) qanchalik tez shiddat bilan o'zgarsa (oshsa yoki kamaysa), konturda shuncha katta induksion tok hosil bo'ladi. Bu induksion tokning hosil qilgan B' maydoni ham shuncha kuchli bo'ladi va yaqinlashayotgan magnet sterjendan shuncha kuchli itariladi yoki uzoqlashayotgan sterjenga shuncha kuchli tortiladi.

Lens qoidasi :

G'altakka o'ralgan simda hosil bo'ladigan induksion tok yo'nalishini galvanometr strelkasining og'ishiga qarab aniqlash mumkin edi. Induksion tokning yo'nalishi bo'yicha 1834yilda Peterburg akademigi Emil Xristianovich Lens tajribalar o'tkazdi va tajriba natijalariga asoslanib induksion tok yo'nalishini aniqlash qoidasini topdi. Konturda hosil bo'ladigan induksion tok yo'nalishi Lens qoidasi asosida aniqlanadi.

Berk konturda paydo bo'ladigan induksion tok shunday yo'naladiki, bunda induksion tok hosil qilgan magnit maydoni tashqi magnit oqimining har qanday o'zgarishiga to'sqinlik qiladi.

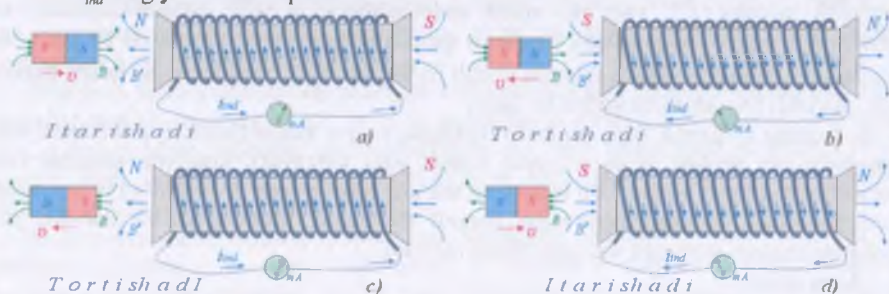
Demak, induksion tok shunday yo'nalar ekanki, uning magnit maydoni konturni kesib o'tuvchi magnit induksiya chiziqlar soni oshayotganda oshirmaslikka intiladi (buning uchun magnit sterjeni itarib yaqinlashtirishga qo'ymaydi), magnit induksiya chiziqlar soni kamayayotganda esa kamaytirmaslikka intiladi (buning uchun magnit sterjenni tortib uzoqlashtirishga qo'ymaydi). Shunday qilib, induksion tok hosil qilgan ikkilamchi B' maydoni kontur va magnit sterjenning nisbiy vaziyatini o'zgartirmaslikka intilar ekan. Chunki, ularning nisbiy vaziyati o'zgarmagandagina konturdan o'tuvchi magnit oqimi o'zgarmaydi.



19.3-rasm

Induksion tokning yo'nalishini aniqlash uchun quyidagi ishlarni bajaramiz (19.3-rasm):

- 1) Magnit oqimi oshayotganligi $\Delta\Phi > 0$ yoki $\Delta\Phi < 0$ kamayayotganligi aniqlanadi;
- 2) Induksion tokning hosil qilgan maydoni B' ning yo'nalishini aniqlaymiz. Buning uchun $\Delta\Phi > 0$ bo'lganda B' maydon B maydonga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, $\Delta\Phi < 0$ bo'lganda esa B' maydon B maydon bilan mos yo'nalgan bo'ladi;
- 3) B' maydonning yo'nalishini bilgan holda o'ng parma qoidasiga asosan induksion tok i_{ind} ning yo'nalishi topiladi.



19.4-rasm

G'altakka magnitni har xil qutblari bilan yaqinlashtirganda yoki uzoqlashtirganda induksion tokning yo'nalishlari, g'altakning qutblari hamda tortilish-itarilish hodisalari yuqoridagi 19.4-rasmda tasvirlangan.



1. Magnit oqimi deb nimaga aytiladi? Uning o'lchov birligini ayting va bir birligiga ta'rif bering.
2. Magnit oqimi qachon maksimal yoki minimal bo'ladi?
3. Elektromagnit induksiya hodisasi nima?
4. Lens qoidasini aytib bering. Unga ko'ra konturda hosil bo'luvchi induksion tokning yo'nalishini aniqlab bering.



§ 18. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA QONUNI VA UNING TATBIQLARI.

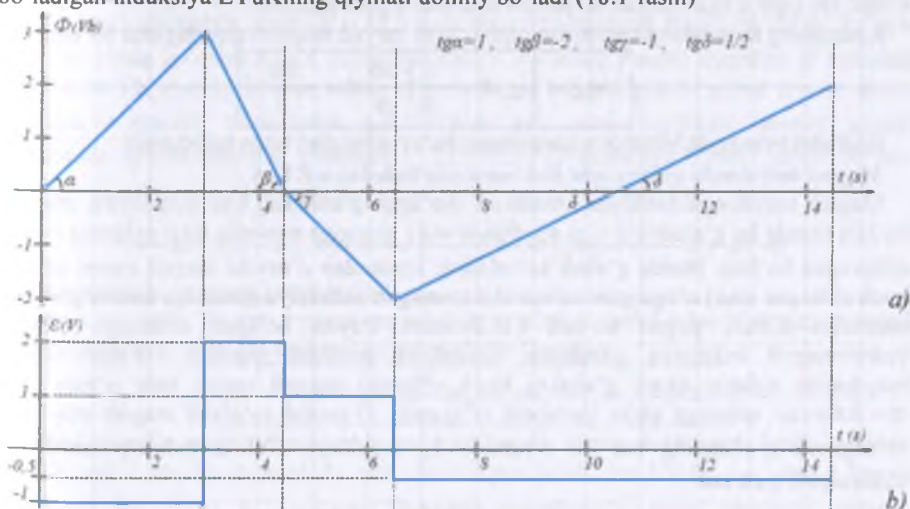
M.Faradey o'z tajribalariga tayangan holda 1831-yili elektromagnit induktsiyasini miqdori baholash uchun o'zining elektromagnit induksiya qonunini yaratdi.

Elektromagnit induksiya qonuni:

Yopiq konturda hosil bo'ladigan induksion EYuK shu kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimining o'zgarish tezligiga proporsionaldir.

$$\mathcal{E}_{ind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{yoki} \quad \mathcal{E}_{ind} = -\dot{\Phi}$$

Elektromagnit iduksiya qonuniga ko'ra, agar magnit oqimi oshayotgan ($\Delta\Phi > 0$) bo'lsa, konturda manfiy induksiya EYuK ($\mathcal{E}_{ind} < 0$) paydo bo'ladi va aksincha, agar magnit oqimi kamayayotgan ($\Delta\Phi < 0$) bo'lsa, konturda musbat induksiya EYuK ($\mathcal{E}_{ind} > 0$) paydo bo'ladi. Agar magnit oqimi bir tekis o'zgarsa, u holda sim ramkada hosil bo'ladigan induksiya EYuKning qiymati doimiy bo'ladi (18.1-rasm)



18.1-rasm

Yuqoridagi rasmdan ham ko'rinadiki, magnit oqimi va vaqt bog'langan ($\Phi = \Phi(t)$) grafikda grafikning gorizont bilan hosil qilgan burchak tangensi miqdor jihatidan konturda hosil bo'ladigan induksiya EYuKga teng bo'lar ekan.

Magnit oqimi uchun yozilgan $\Phi = BS \cos \alpha$ formuladagi kattaliklardan biri vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'lsa, elektromagnit induksiya qonunidan yana xususiy formulalar kelib chiqadi.

Agar faqat magnit maydoni vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'lsa, elektromagnit induksiya qonuni quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\mathcal{E}_{ind} = -\dot{\Phi} = -S \cos \alpha \frac{dB}{dt}$$

Agar faqat kontur yuzasining kattaligi vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'lsa, elektromagnit induksiya qonuni quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\mathcal{E}_{ind} = -\dot{\Phi} = -B \cos \alpha \frac{dS}{dt}$$

Agar S yuza bu yuzaga tik bo'lgan o'q atrofida $\alpha = \omega t$ qonunga ko'ra tekis aylanayotgan bo'lsa, elektromagnit induksiya qonuni quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\mathcal{E}_{ind} = -\dot{\Phi} = -BS \frac{d(\cos \omega t)}{dt} = BS \omega \sin \omega t$$

Agar konturning elektr qarshiligi ma'lum bo'lsa, induksion tokning kattaligini ham aniqlash mumkin bo'ladi.

$$i_{ind} = \frac{\mathcal{E}_{ind}}{R} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \text{yoki} \quad i_{ind} = -\frac{\dot{\Phi}}{R}$$

Elektromagnit inukdsiya hodisasi tufayli konturda induksiyaon tok paydo bo'lar ekan, demak, zaryadli zarralarning bir tomonga ko'chkisi ham paydo bo'ladi. Natijada, konturning ko'ndalang kesimi yuzidan biror chekli Δt vaqt oralig'ida Δq zaryad oqib o'tadi. Bu oqib o'tgan zaryad miqdorini hisoblab topish mumkin.

Konturning ko'ndalang kesimidan oqib o'tgan zaryad miqdori quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta q_{ind} = \int_0^t i_{ind} dt = -\frac{1}{R} \int_0^t \frac{d\Phi}{dt} dt = -\frac{\Delta \Phi}{R}$$

Endi elektromagnit induksiya qonunining ba'zi tatbiqlari bilan tanishamiz.

Magnit maydonda aylanuvchi sim ramkada induksiya EYuK :

Magnit maydonga kiritilgan yuzasi S bo'lgan g'altakka N ta sim o'ram o'ralgan bo'lsin hamda bu g'altak o'z o'qi atrofida $\alpha = \omega t$ qonunga muvofiq tekis aylanma harakat qilayotgan bo'lsin. Bunda g'altak ko'ndalang kesimidan o'tuvchi magnit oqimi (magnit kuch chiziqlar soni) o'zgargani uchun elektromagnit induksiya qonuniga asosan g'altakda inukdsiya EYuK paydo bo'ladi (18.2-rasm). Paydo bo'lgan induksiya EYuKni elektromagnit induksiya qonunidan foydalanib aniqlash mumkin. G'altak magnit maydonida aylanar ekan, g'altakni kesib o'tuvchi magnit oqimi vaqt o'tishi bilan $\Phi = BS \cos \omega t$ qonunga ko'ra garmonik o'zgaradi. O'ramlar to'plami magnit maydonda aylanganda g'altakning har bir o'ramida $\mathcal{E}_0$ induksiya EYuKi induksiyalanadi. Bu induksiya EYuK esa

$$\mathcal{E}_0 = -\dot{\Phi} = -(BS \cos \omega t)' = BS \omega \sin \omega t$$

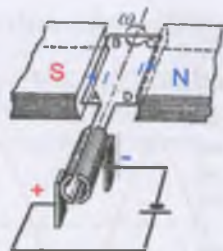
ga teng bo'ladi. G'altakda paydo bo'ladigan umumiy EYuK

$$\mathcal{E}_{ind} = N \mathcal{E}_0 = N BS \omega \sin \omega t = \mathcal{E}_{max} \sin \omega t$$

bo'ladi. Induksiya EYuK ham xuddi magnit oqimi kabi garmonik qolnunga muvofiq o'zgaradi, faqat tebranish fazasi magnit oqimining tebranish fazasidan $\pi/2$ qadar orqada boradi.

Shunday qilib, magnit maydonida N ta sim o'ramga ega bo'lgan tekis aylanuvchi g'altakda paydo bo'ladigan induksiya EYuK quyidagicha bo'lar ekan (18.2-rasm):

$$\varepsilon_{ind} = NBS\omega \sin \omega t = \varepsilon_{max} \sin \omega t, \quad \varepsilon_{max} = NBS\omega$$



18.2-rasm

Induksiya EYuKi garmonik qonunga ko'ra o'zgarar ekan, induksiya tok kuchi ham garmonik qonunga muvofiq o'zgaradi.

G'altakda hosil bo'ladigan induksiya EYuKning vaqt bo'yicha o'zgarish tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$i_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{NBS\omega}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t, \quad I_m = \frac{NBS\omega}{R}$$

G'altak magnit maydonida aylanar ekan, g'altak ko'ndalang kesimidan o'tuvchi magnit oqimi davriy ravishda kamayib va oshib turadi. Lens qoidasiga asosan, induksiya toki shunday yo'naladiki, bu induksion tok magnit oqimi ortayotganda ortishga va kamayotganda esa kamayishga to'sqinlik qiluvchi ikkilamchi magnit maydonini hosil qiladi. Boshqacha aytganda, ikkilamchi maydon magnit oqimining har qanday o'zgarishini cheklashga intiladi. Shuning uchun, g'altakni magnit maydonda aylantirish uchun tashqi kuchlar ish bajarishi kerak, ya'ni tashqi burovchi moment bo'lishi kerak. Shu burovchi momentni hisoblaylik.

Oldingi mavzularda doimiy I tok o'tib turgan sim ramka doimiy B magnit maydoniga kiritilganda, unda $M = BIS \sin \alpha$ burovchi moment paydo bo'lishini ko'rgan edik. Bu yerda α – sim ramka yuzasi normali $\vec{n}$ va tashqi magnit maydoni $\vec{B}$ orasidagi burchak bo'lib, mazkur holatda ramka tekis aylanma harakat qilgani uchun $\alpha = \omega t$ qonun bo'yicha o'zgaradi. O'ramlarga ega bo'lgan sim ramka (g'altak) doimiy magnit maydonida aylantirildganda g'altakda $i_{ind} = \frac{NBS\omega}{R} \sin \omega t$ induksiya EYuKi paydo bo'ladi.

Shulami e'tiborga olsak, g'altakni magnit maydonida aylantirish uchun

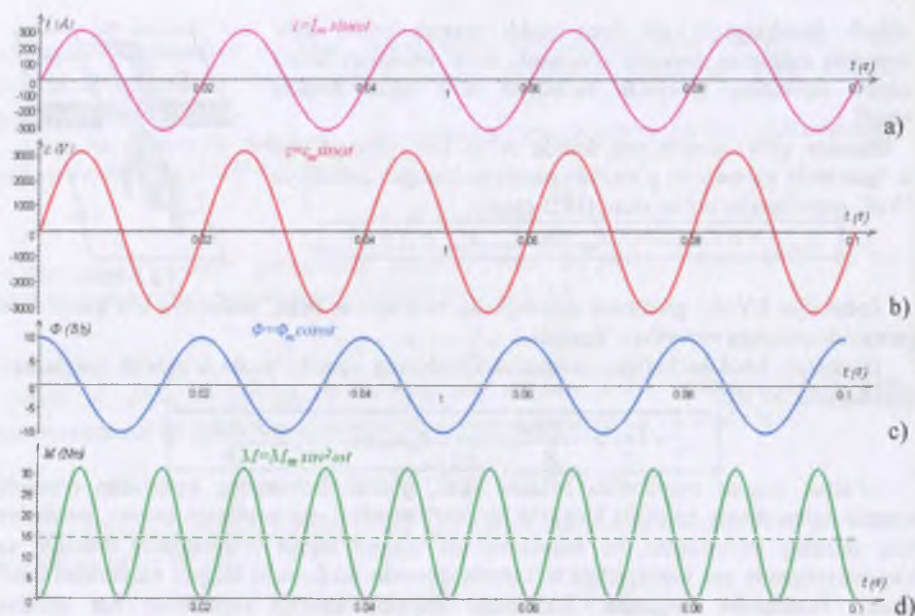
$$M = BIS \sin \alpha = Bi_{ind} S \sin \omega t = B \left(\frac{NBS\omega}{R} \sin \omega t \right) S \sin \omega t = \frac{N\omega}{R} B^2 S^2 \sin^2 \omega t$$

ga teng burovchi moment kerak bo'ladi.

Shunday qilib, doimiy magnit maydonida g'altakni tekis aylantirish uchun kerak bo'ladigan tashqi burovchi moment quyidagicha bo'lar ekan:

$$M = \frac{N\omega}{R} B^2 S^2 \sin^2 \omega t = M_m \sin^2 \omega t, \quad M_m = \frac{N\omega}{R} B^2 S^2$$

Simli ramka magnit maydonida aylantirilganda ramka tekisligini kesib o'tuvchi magnit oqimi ($\Phi = \Phi(t)$), ramkida hosil bo'ladigan induksion EYuK ($\varepsilon_{ind} = \varepsilon(t)$) hamda induksion tok kuchi ($i_{ind} = i(t)$) va ramkani aylantiruvchi tashqi burovchi moment ($M = M(t)$) grafiklari quyidagi rasmda tasvirlangan.



18.3-rasm

Yuqoridagi grafiklar kattaliklar qiymatlari $N = 100$, $B = 1 \text{ T}$, $S = 0,1 \text{ m}^2$, $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$, $R = 10 \Omega$ ga teng bo'lgan holat uchun keltirilgan.

Tokli ramkani magnet maydonida burish uchun bajariladigan ishni $A = \int M(\varphi) d\varphi$ formuladan aniqlash mumkin. Burovchi momentning bir davrdagi o'rtacha qiymatini

$$M = \frac{N\omega}{2R} B^2 S^2$$

deb hisoblasak, ramkani ixtiyoriy $\Delta\varphi$ burchakka burganda

$$A = M \cdot \Delta\varphi = \frac{N\omega}{2R} B^2 S^2 \cdot \Delta\varphi$$

ga teng bo'ladi. Agar ramka butun son marta aylansa, ya'ni $\Delta\varphi = 2\pi k$ desak, bajarilgan ish

$$A = \frac{\pi k N \omega}{R} B^2 S^2$$

ga teng bo'ladi.

Shunday qilib, magnet maydonida sim ramkani tekis aylantirish uchun tashqi kuchlar bajarilgan ish quyidagicha bo'lar ekan:

$$A = \frac{N\omega}{2R} B^2 S^2 \cdot \Delta\varphi \quad \text{yoki} \quad A = \frac{\pi k N \omega}{R} B^2 S^2$$

Magnet maydonida harakatlanayotgan o'tkazgichda induksiya EYuK :

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, agar biror uzunlikdagi o'tkazgich bo'lagi olib, uni magnet maydonida o'zgarmas tezlik bilan harakatlantirilganda ham bu o'tkazgichda induksion EYuK va o'tkazgich bo'ylab induksion tok hosil bo'lar ekan. Natijada,

o'tkazgich uchlarida potentsiallar ayirmasi paydo bo'lar ekan. Ana shu induksion EYuKni miqdoriy hisoblaylik.

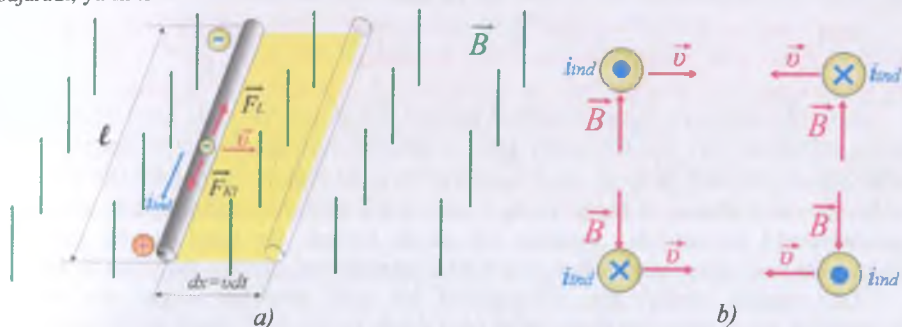
Agar induksiya B bo'lgan magnit maydoniga uzunligi ℓ bo'lgan o'tkazgich kiritilgan bo'lsa va bu o'tkazgich maydonga α burchak ostida ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, u holda o'tkazgichda hosil bo'ladigan induksiya EYuK quyidagicha bo'ladi:

$$\mathcal{E}_{ind} = B \ell \vartheta \sin \alpha$$

Yuqoridagi formulani ikki xil usulda isbotlash mumkin:

1-usul

O'tkazgich magnit maydonida harakatlanganda, bu o'tkazgichning ichidagi har bir erkin elektron ham magnit maydonida harakatlanadi. Bu elektronlarga esa magnit maydoni tomonidan Lorens kuchi ta'sir etib, bu Lorens kuchi ularni o'tkazgichning bir tomoniga to'playdi. Natijada, o'tkazgichning bir uchida ortiqcha elektronlar tufayli manfiy potentsial, ikkinchi uchida esa elektron yetishmovchiligi tufayli musbat potentsial paydo bo'ladi (18.4-a,rasm). O'tkazgich uchlaridagi potentsiallar farqi toki erkin elektronga ta'sir etuvchi Lorens kuchi va Kulon kuchlari o'zaro tenglashguncha ($F_L = F_{Kl}$) davom etadi. O'tkazgichning bir uchida turgan erkin elektronni Lorens kuchi Kulon kuchiga qarshi o'tkazgichning ikkinchi uchiga ko'chirishda ish bajaradi, ya'ni ish



18.4-rasm

$$A = F_L \cdot \ell = F_L \cdot \ell = e \vartheta B \sin \alpha \cdot \ell$$

ga teng bo'ladi. Zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish esa EYuKni ifodalar edi. Ya'ni o'tkazgichda paydo bo'ladigan induksiya EYuK

$$\mathcal{E}_{ind} = \frac{A}{e} = \frac{e \vartheta B \sin \alpha \cdot \ell}{e} = B \ell \vartheta \sin \alpha$$

ga teng bo'ladi.

2-usul

O'tkazgich magnit maydonida maydonga nisbatan α burchak ostida harakatlanganda, biror kichik dt vaqt oralig'ida o'tkazgich biror kichik $d\ell = \vartheta dt$ masofaga siljib, magnit maydonida $dS = \ell dx \sin \alpha = \ell \vartheta \sin \alpha dt$ ga teng kichik yuza chizadi. Bunda shu yuzani kesib o'tuvchi magnit oqimi

$$d\Phi = B dS = B \ell \vartheta \sin \alpha dt$$

ga teng bo'ladi. Elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra esa induksiya EYuK miqdor jihatidan magnit oqimining o'zgarish tezligiga teng bo'ladi. Ya'ni, induksiya EYuKning qiymati

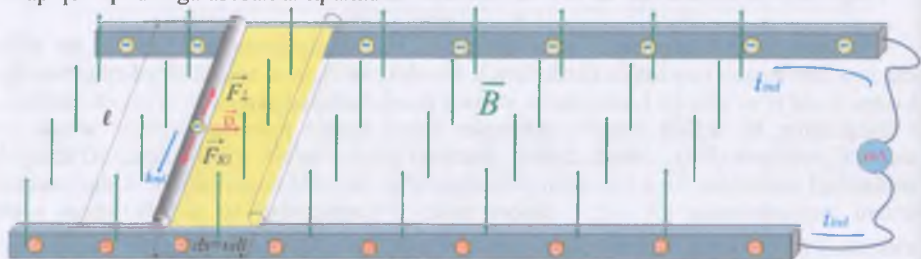
$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{B \ell \vartheta \sin \alpha dt}{dt} = B \ell \vartheta \sin \alpha$$

ga teng bo'ladi.

Demak, yuqoridagi isbotlangan formuladan ko'rinadiki, $\alpha = 90^\circ$ bo'lganda, o'tkazgichda eng katta EYuK hosil bo'lar ekan.

$$\varepsilon_{\text{max}} = B \ell \vartheta$$

18.4-b, rasmda o'tkazgichda hosil bo'ladigan induksion toklarning yo'nalishlari tasvirlangan. Rasmda o'tkazgich uzunligi chizma tekisligiga tik holda turibdi. Magnit maydonida harakatlanayotgan o'tkazgichda hosil bo'ladigan induksion tokning yo'nalishi chap qo'l qoidasiga asosan aniqlanadi.



18.5-rasm

Agar chap qo'limizni yoyilgan to'rt barmog'imiz o'tkazgich harakat yo'nalishini ko'rsatadigan qilib, magnit maydoni esa kastrimizga kiradigan qilib tutsak, u holda 90° ga kerilgan bosh barmog'imiz esa induksion tok yo'nalishini ko'rsatadi.

Agar 18.5-rasmda o'tkazgich uchlari parallel o'tkazgich relslarida harakatlantirilsa, u holda relslardan biri (-), ikkinchisi esa (+) ishorali zaryadlanib qoladi hamda relslar orasidagi potentsiallar farqi $\varphi_+ - \varphi_- = \varepsilon_{\text{ind}} = B \ell \vartheta \sin \alpha$ ga teng bo'ladi. Agar rels uchlariga milliampermetr ulansa, u holda yopiq kontur hosil bo'lishi natijasida soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda aylanma tok paydo bo'ladi. Bu tokni manfiy zaryadlar-elektronlar hosil qilayotgani uchun, elektronlar harakati soat strelkasi bo'yicha bo'ladi.

Agar magnit maydondagi o'tkazgichni bir uchi atrofida o'tgan o'q atrofida aylantirilsa, uning uchlarida potentsiallar farqi paydo bo'lar ekan. Shuni hisoblaylik (18.6-rasm). Markaz boshidan ixtiyoriy r masofada elementar dr uzunlik olamiz. Bu elementar uzunlik magnit maydonida deyarli o'zgarmas $\vartheta = \omega r$ tezlik bilan harakatlanadi. Bu elementar qismda hosil bo'ladigan elementar induksiya EyuK

$$d\varepsilon = B \ell \vartheta \sin \alpha = B dr (\omega r) \sin \alpha = B \omega \sin \alpha r dr$$

ga teng bo'ladi. Buni $0 \leq r \leq \ell$ oralikda integrallab butun o'tkazgichda hosil bo'ladigan induksiya EYuKning qiymatini topamiz.

$$\varepsilon = \int d\varepsilon = B \omega \sin \alpha \int_0^\ell r dr = B \omega \sin \alpha \frac{\ell^2}{2} = \frac{1}{2} B \omega \ell^2 \sin \alpha = B \frac{\vartheta}{2} \ell \sin \alpha$$

Bu yerda: $\vartheta_m = \omega \ell$ - o'tkazgich uchining chiziqli tezligi. Demak, ℓ uzunlikdagi o'tkazgichni bir uchi atrofida aylantirganda yoki uni o'rtasining tezligiga teng ($\vartheta = \frac{\vartheta_m}{2}$)

tezlik bilan ilgarilanma harakatlantirganda hosil bo'ladigan EYuKlarning qiymatlari o'zaro teng bo'lar ekan.

Shunday qilib, magnit maydoniga kiritilgan ℓ uzunlikdagi o'tkazgichni bir uchi atrofida birlar ω burchak tezlik bilan aylantirilganda o'tkazgichda hosil bo'ladigan induksiya EYuK quyidagicha bo'lar ekan:

$$\varepsilon_{ind} = \frac{1}{2} B \omega \ell^2 \sin \alpha = B \frac{q_m}{2} \ell \sin \alpha$$

Bugungi kundagi barcha o'zgaruvchan tok bilan ishlaydigan elektr jihozlari, gidro, issiqlik va atom elektrostansiyalari, elektrodvigatellar va generatorlar, mikrofon va tovush karnaylari va boshqalarning ishlashi elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan.



18.6-rasm



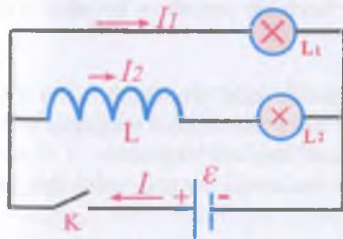
1. Elektromagnit induksiya qonunini aytib bering.
2. Konturda hosil bo'ladigan induksiya EYuKning ishorasi qachon musbat yoki manfiy bo'lishini aytning.
3. Magnit induksiya, kontur yuzasi va burchalardan biri vaqtga bog'liq bo'lgan hollar uchun elektromagnit induksiya qonunining matematik ifodalarini yozing.
4. Aylanuvchi sim ramka uchun elektromagnit induksiya qonunini yozing.
5. Aylanuvchi sim ramkada magnit oqimi, induksiya EYuK va induksiya tokining vaqtga bog'lanish tenglamalarini yozing va ularning grafiklarini tasvirlang.
6. Sim ramkani magnit maydonida aylantiruvchi burovchi momentning vaqtga bog'lanish tenglamasini yozing.
7. Sim ramkani magnit maydonida ixtiyoriy $\Delta\varphi$ burchakka burish uchun, bir marta aylantirish uchun va k marta aylantirish uchun tashqi kuch qanday ish bajaradi?
8. Magnit maydonida to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan o'tkazgichda hosil bo'ladigan induksiya EYuK qanday? Agar o'tkazgich bir uchidan o'tgan o'q atrofida tekis aylanayotgan bo'lsa-chi?



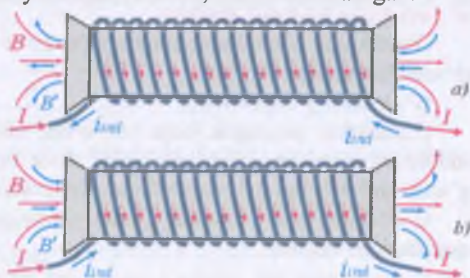
§ 19. O'ZINDUKSIYA HODISASI. G'ALTAKNING INDUKTIVLIGI. MAGNIT MAYDON ENERGIYASI. O'ZARO INDUKSIYA HODISASI.

O'zinduksiya hodisasi:

19.1-rasmdagi zanjirmi yig'aylik. K kalit ulanganda 1-lampa darhol yonadi, 2-lampa esa biroz kechikib yonadi. 1-lampadan o'tadigan tok o'zining maksimal qiymatiga darhol erishadi. 2-lampadan o'tadigan tok esa o'zining maksimal qiymatiga erishish uchun biroz vaqt kerak bo'ladi. Demak, 2-lampada kalit ulangandan keyin tok kuchining oshishiga qarshilik qiluvchi qandaydir bir to'sqinlikka uchraydi. Buning sababchisi esa L g'altakdir. K kalit ulanganda nima hodisa ro'y berishini 19.2-a, rasmda ko'rsatilgan.



19.1-rasm



19.2-rasm

Amerikalik fizik, Smitson institutining birinchi sekretari Jozef Genri 1797-yil 17-dekabrda Nyu-York shtatining Olbani shaharchasida kumbag'al oilada tug'ilgan. 16 yoshidan fanga qiziqi boshlagan. 1819 Olbani akademiyasiga o'qishga kiradi va 1826-yilda Olbani akademiyasi pprofessori bo'ladi. Uning Erning magnit maydoniga qiziqishi butunlay magnetizm bilan shug'ullanishiga olib keldi. U birinchchi bo'lib, g'altak va o'zak yordamida sun'iy elektromagnitni oladi va o'z zamonasining eng kuchli elektromagnitini ixtiro qiladi. Genri Benjamin Franklin zamonidagi eng buyuk olimlardan biri hisoblangan, shuningdek Linkoln tomonidan AQSh milliy fanlar akademiyasi tarkibiga kiritilgan 50 ta nomdor olimlardan biri bo'lgan. Induktivlikning o'lchov birligi uning nomi bilan Genri deb ataladi va bu o'lcham 1960-yil o'lcham va og'irliklar bo'yicha XI bosh konferensiyaning qaroriga muvofiq XBSga kiritildi. U 1878-yil 13-mayda Vashingtonda vafot etadi.



Jozef Genri
(1797–1868)

Kalit ulangan paytda tok kuchi I osha boshlaydi. Shuning bilan birga g'altak yuzasini kesib o'tuvchi magnit oqimi ham osha boshlaydi. Elektromagnit induksiya hodisasiga ko'ra g'altakda induksion tok paydo bo'ladi. Lens qoidasiga ko'ra $\Delta\Phi > 0$ bo'lganda induksion tok hosil qilgan ikkilamchi B' maydon asosiy B maydonga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Shuningdek, induksion tok i_{ind} ham asosiy I tokka qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Ana shu sababdan ham 2-lampa kechikib yonadi.

K kalit uzilganda 1-lampa darhol o'chadi, 2-lampa esa biroz kechikib o'chadi. 1-lampadan o'tadigan tok o'zining minimal qiymatiga darhol erishadi. 2-lampadan o'tadigan tok esa o'zining minimal qiymatiga erishish uchun biroz vaqt kerak bo'ladi. Demak, 2-lampada kalit uzilgandan keyin tok kuchining kamayishiga to'sqinlik qiluvchi, tok kuchini qo'llab-quvvatlab turuvchi qandaydir yordamga, ko'makka duch keladi. Buning sababchisi esa L g'altakdir. K kalit ulanganda nima hodisa ro'y berishini 2-rasmda ko'rsatilgan. K kalit uzilganda nima hodisa ro'y berishini 19.2-b, rasmda ko'rsatilgan.

Kalit uzilgan paytda tok kuchi I kamaya boshlaydi. Shuning bilan birga g'altak yuzasini kesib o'tuvchi magnit oqimi ham kamaya boshlaydi. Elektromagnit induksiya hodisasiga ko'ra g'altakda induksion tok paydo bo'ladi. Lens qoidasiga ko'ra $\Delta\Phi < 0$ bo'lganda induksion tok hosil qilgan ikkilamchi B' maydon asosiy B maydon bilan mos yo'nalgan bo'ladi. Shuningdek, induksion tok i_{ind} ham asosiy I tok bilan yo'nalishdosh bo'ladi. Ana shu sababdan ham 2-lampa kechikib o'chadi.

G'altakning tok kuchining har qanday o'zgarishiga ko'rsatadigan qarshiligini o'zinduksiya hodisasi deyiladi.

G'altakning o'ramlar soni qanchalik ko'p bo'lsa, kechikib yonish va kechikib o'chish shunchalik sezilarli bo'ladi.

G'altakning induktivligi:

G'altakdan qanchalik katta tok o'tsa, uning yuzasida ham shunchalik katta magnit induksiya oqimi paydo bo'ladi, ya'ni $\Phi \sim I$ bo'ladi. Proporsionallikdan tenglikka o'tishda g'altak induktivligi deb ataluvchi L proporsionallik koeffitsiyenti kirgizamiz.

G'altakdan tok o'tganda g'altak yuzasida hosil bo'luvchi magnit induksiya oqimi quyidagicha bo'ladi:

$$\Phi = LI$$

Bu yerda: $L = \frac{\Phi}{I} \left[\frac{1}{A} = Gn \right] - g'$ altak induktivligi. Induktivlikni mexanikadagi massaga (inertlikka) o'xshatish mumkin. Massasi katta jismning tezligini o'zgartirish qiyin bo'lgani kabi, induktivligi katta bo'lgan g' altakdagi tok kuchini ham o'zgartirish qiyin kechadi.

Agar g' altakdan $1A$ tok o'tganda uning yuzasida $1/b$ magnit oqimi paydo bo'lsa, bunday g' altakning induktivligi $1Gn$ (Genri) ga teng bo'ladi.

$$1Gn = \frac{1/b}{1A}$$

G' altak induktivligi g' altakning geometrik o'lchamlari, o'ramlar soni va ferromagnit o'zakning magnit singdiruvchanligiga bog'liq bo'lgan kattalikdir. Induktivlik formulasini keltirib chiqaraylik. Magnit oqimini topish formulasiga ko'ra g' altakning bitta o'ramida $\Phi_0 = BS \cos \alpha = BS$ induksiya oqimi paydo bo'ladi. G' altakdagi jami o'ramlar soni N ta bo'lgani uchun g' altak yuzida jami $\Phi = N\Phi_0 = NBS$ induksiya oqimi paydo bo'ladi. G' altak ichidagi magnit induksiyasi $B = \mu\mu_0 \frac{N}{\ell} = \mu\mu_0 I n$ ekanini hisobga olsak, magnit oqimi

$$\Phi = NBS = N \mu\mu_0 I nS = \mu_0 I S \frac{N^2}{\ell}$$

natijaga ega bo'lamiz. Buni $\Phi = LI$ ga tenglashtirib, g' altak induktivligi uchun

$$L = \mu\mu_0 S n N = \mu\mu_0 S \frac{N^2}{\ell}$$

formulaga ega bo'lamiz.

Demak, g' altakning induktivligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$L = \mu\mu_0 S n N = \mu\mu_0 S \frac{N^2}{\ell}$$

Elektromagnit induksiya qonunidan foydalanib, kontur(g' altak)dan o'zgaruvchan tok o'tganda, konturning o'zida hosil bo'ladigan o'zinduksiya EYuKni aniqlash mumkin. Elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra $\varepsilon_{ind} = -\dot{\Phi}$ edi. Bu yerda $\Phi = LI$ ekanini hisobga olsak, u holda

$$\varepsilon_{o'z} = (Li)' = -Li' = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

formula kelib chiqadi.

Demak, g' altakning o'zida paydo bo'ladigan o'zinduksiya EyuKi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\varepsilon_{o'z} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -Li'$$

Yuqoridagi formuladan shunday xulosa kelib chiqadi:

Induktivligi $1Gn$ bo'lgan konturdan o'tayotgan tok kuchi $1s$ da $1A$ ga tekis o'zgarsa, konturda $1V$ o'zinduksiya EYuK paydo bo'ladi.

Magnit maydon energiyasi va energich zichligi:

G' altakdan tok o'tmayotgan paytda unda magnit maydon mavjud bo'lmaydi va demak, magnit maydon energiyasi ham nolga teng bo'ladi. Agar g' altakni tok manbaiga ulasak, unda asta-sekin tok kuchi osha boradi va biroz vaqtdan keyin qandaydir I qiymatga

erishadi. Bunda g'altak kesimida $\Phi = LI$ magnit oqimi paydo bo'ladi va demak, magnit maydoni paydo bo'lgani uchun bu maydon biror energiyaga ega bo'ladi. Ana shu magnit maydon energiyasini hisoblab topamiz.

G'altakdan l tok o'tayotganda biror kichik dl vaqt davomida g'altakdan $dq = I dt$ zaryad oqib o'tadi. Bu zaryadni ko'chirishda kichik

$$dA = \varepsilon_{01} dq = \varepsilon_{01} I dt = -\frac{d\Phi}{dt} I dt = -I d\Phi = -I L dl$$

ga teng miqdorda ish bajariladi. Bu kichik ishni 0 dan l gacha integrallasak, jami bajarilgan ish kelib chiqadi.

$$A = \int_0^l dA = -\int_0^l LI dl = -\frac{LI^2}{2}$$

Bu bajarilgan ish miqdor jihatidan g'altakda jamg'arilgan magnit maydon energiyasiga teng bo'ladi va u quyidagicha:

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi I}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}$$

G'altak tok manbaiga ulanganda uning tok kuchini I_1 dan I_2 gacha oshirishda tok manbai energiyalar farqiga teng bo'lgan ish bajaradi.

$$A = W_2 - W_1 = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2}$$

Agar solenoid tok manбайдan ajratilsa, solenoiddagi tok kuchi asta-sekin kamayib, birozdan so'ng butunlay yo'qoladi. Shuningdek, magnit maydon energiyasi ham butunlay yo'qoladi. Bunda energiyaning saqlanish qonuni buzilmasdan, magnit maydon energiyasi issiqlik tarzida ajralib g'altak cho'lg'amlarini qizdiradi.

$$Q = W = \frac{LI^2}{2}$$

Manba tok manбайдan ajratilganda tok kuchini I_1 dan I_2 gacha kamayganda cho'lg'amlarda energiyalar farqiga teng bo'lgan issiqlik miqdori ajraladi.

$$Q = W_1 - W_2 = \frac{LI_1^2}{2} - \frac{LI_2^2}{2}$$

Cheksiz solenoid ichidagi magnit maydon energiyasini magnit maydon induksiyasi va magnit maydon kuchlanganligi orqali ham ifodalash mumkin. Cheksiz solenoid ichidagi magnit maydon induksiyasini aniqlash uchun topilgan

$$B = \mu \mu_0 I n = \mu \mu_0 I \frac{N}{\ell}$$

formuladan tok kuchinini topib, so'ngra uni magnit maydon energisi formulasiga qo'yamiz.

$$I = \frac{B \ell}{\mu \mu_0 N} \rightarrow W = \frac{LI^2}{2} = \frac{L}{2} \left(\frac{B \ell}{\mu \mu_0 N} \right)^2$$

Induktivlikni o'rninga

$$L = \mu \mu_0 S \frac{N^2}{\ell}$$

formulani qo'yib, so'ralgan kattalikni topamiz.

$$W = \frac{L}{2} \left(\frac{B \ell}{\mu \mu_0 N} \right)^2 = \frac{1}{2} \mu \mu_0 S \frac{N^2}{\ell} \cdot \frac{B^2 \ell^2}{\mu^2 \mu_0^2 N^2} = \frac{B^2}{2 \mu \mu_0} S \ell = \frac{B^2}{2 \mu \mu_0} V$$

Endi esa $B = \mu \mu_0 H$ ekanini e'tiborga olsak, magnit maydon energiyasi uchun

$$W = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V = \frac{BH}{2} V = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} V$$

natijalarga ega bo'lamiz.

Shunday qilib, g'altak ichida magnit maydon energiyasi quyidagi formula yordamida aniqlanar ekan:

$$W = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V = \frac{BH}{2} V = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} V$$

Bu formula bizga elektrostatika bo'limidagi

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V = \frac{ED}{2} V = \frac{D^2}{2\varepsilon\varepsilon_0} V$$

elektr maydoni energiyasini eslatadi.

Hajm birligiga to'g'ri kelgan energiyasga *energiya zichligi* deyiladi.

$$w = \frac{W}{V} \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

Magnit maydoni energiyasi zichligi quyidagicha bo'ladi:

$$w = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$$

Bu formula bizga elektrostatika bo'limidagi

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon\varepsilon_0}$$

elektr maydoni energiyasi zichligini eslatadi.

O'zaro induksiya hodisasi:

Bir-biriga yaqin masofada joylashgan hamda shakli va o'lchamlari turlicha ikkita kontur olaylik (19.3-rasm). Mos holda konturlar induktivliklari L_1 va L_2 , ulardagi tok kuchlari I_1 va I_2 hamda kontur yuzalarida hosil bo'layotgan magnit oqimlari Φ_1 va Φ_2 ga teng bo'lsin. I_1 tok tufayli 1-konturda hosil bo'ladigan Φ_1 magnit oqimining hammasi 2-kontur yuzini ham kesib o'tmasdan, balki uning biror Φ_{12} ($\Phi_{12} < \Phi_1$) qismi kesib o'tadi. Shuningdek, I_2 tok tufayli 2-konturda hosil bo'ladigan Φ_2 magnit oqimining hammasi 1-kontur yuzini ham kesib o'tmasdan, balki uning biror Φ_{21} ($\Phi_{21} < \Phi_2$) qismi kesib o'tadi. Agar konturlardagi I_1 va I_2 tok kuchlari o'zgarmas saqlansa, bu konturlarda hech narsa sodir bo'lmaydi. Aksincha konturlardagi tok kuchlari vaqt o'tishi bilan o'zgaruvchan bo'lsa, u holda elektromagnit induksiya hodisasiga asosan nima sodir bo'lishini tekshirib ko'ramiz.

1-konturdagi tok kuchining kichik dI_1 ga o'zgarishi unda qo'shimcha $d\Phi_1$ magnit oqimining o'zgarishini hosil qiladi. Bu o'zgargan $d\Phi_1$ magnit oqimining biror $d\Phi_{12}$ ($d\Phi_{12} < d\Phi_1$) qismi 2-kontur yuzini kesib o'tadi. Buni quyidagicha yozamiz:

$$d\Phi_{12} = L_{12} dI_1$$

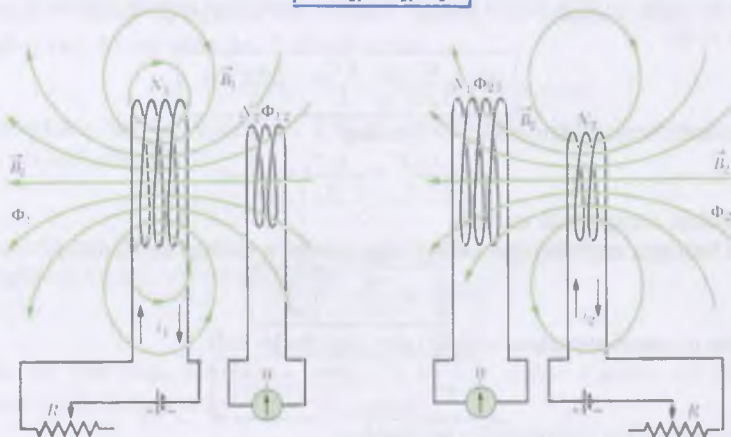
Bu esa elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra 2-konturda EYuKni induksiyalaydi.

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_1}{dt}$$

Xuddi shuningdek, 2-konturdagi tok kuchining kichik dI_2 ga o'zgarishi unda qo'shimcha $d\Phi_2$ magnit oqimining o'zgarishini hosil qiladi. Bu o'zgargan $d\Phi_2$ magnit

oqimining biror $d\Phi_{21}$ ($d\Phi_{21} < d\Phi_2$) qismi 1-kontur yuzini kesib o'tadi. Buni quyidagicha yozamiz:

$$d\Phi_{21} = L_{21} dI_2$$



19.3-rasm

Bu esa elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra 2-konturda EYuKni induksiyalaydi.

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_2}{dt}$$

Mazkur hodisa o'zaro induksiya hodisasi deb ataladi.

Konturlardan biri orqali o'tayotgan tok kuchining o'zgarishi tufayli ikkinchi konturda induksiya EYuKning paydo bo'lishiga o'zaro induksiya hodisasi deyiladi.

Yuqoridagi formulalarda L_{12} va L_{21} kattaliklar o'zaro induktivlik deb ataladi. Tajriba va nazariy yo'llar bilan ularning o'zaro tengligi isbot etilgan.

$$L_{12} = L_{21}$$

Undan tashqari o'zaro induktivlikning qiymati konturlarning geometrik shakliga, o'lchamlariga, ulardagi o'ramlar soniga, konturlarni o'rab turgan muhitning magnit singdiruvchanligiga hamda konturlarning bir-biriga uzoq-yaqinligiga bog'liq bo'ladi.

Agar konturlar bir-biriga juda yaqin masofada joylashgan bo'lsa, konturlarning birida hosil bo'lgan magnit oqimi deyarli ikkinchisini ham kesib o'tadi va aksincha. Bunday holda o'zaro induktivlikning qiymati konturlarning L_1 va L_2 induktivliklari oralig'ida yotadi. Agar 2-konturning induktivligi 1-konturnikidan katta ($L_1 < L_2$) deb hisoblasak, quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi:

$$L_1 < L_{12} = L_{21} < L_2$$

O'zaro induktivlikning o'lchov birligi xuddi induktivlikniki kabi Genri (G_n) dir.

- ?
1. O'zinduksiya hodisasi nima? Induktivlik va uning o'lchov birligi nima? G'altakning induktivligi qanday aniqlanadi?
 2. G'altakda hosil bo'ladigan magnit oqimi qanday formuladan aniqlanadi?
 2. Magnit maydon energiyasi va energiya zichligi ifodalarini yozing.
 3. G'altakda hosil bo'ladigan o'zinduksiya EYuK ifodasini yozing.
 4. O'zaro induksiya nima, o'zaro induktivlikchi?



III BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. To'g'ri uzun o'tkazgichdan 2 A tok o'tmoqda. Undan 1 sm masofadagi magnit maydon kuchlanganligi necha A/m ga teng?

- A) $\frac{1}{\pi}$ B) $\frac{150}{\pi}$ C) $\frac{200}{\pi}$ D) $\frac{50}{\pi}$ E) $\frac{100}{\pi}$

Berilgan

$$I=2A$$

$$r=10^{-2}m$$

$$H=?$$

Yechilishi

$$H=I/2\pi r=100/\pi$$

$$J:E$$

2. O'ramlar soni 600, uzunligi 1 m bo'lgan solenoiddan 2 A tok o'tmoqda. Uning ichidagi magnit maydon kuchlanganligi necha A/m ga teng?

- A) 1200 B) 300 C) 600 D) 200 E) 400

Berilgan

$$N=600$$

$$I=2A$$

$$l=1m$$

$$H=?$$

Yechilishi

$$H=NI/l=nI=1200$$

$$J:A$$

3. Radiusi 5 sm bo'lgan sim halqa induksiyasi 0,2 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Agar halqadan 2 A tok o'tayotgan bo'lsa, magnit maydon tomonidan unga qanday maksimal kuch momenti ta'sir etadi (N·m)?

- A) $6,28 \cdot 10^{-6}$ B) $3,14 \cdot 10^{-3}$ C) 31,4 D) 3,14 E) $3,14 \cdot 10^{-6}$

Berilgan

$$R=5 \cdot 10^{-2}m$$

$$B=0,2T$$

$$I=2A$$

$$M=?$$

Yechilishi

$$1) F=\beta I l$$

$$2) l=2\pi r; S=\pi R^2$$

$$3) M=IBS=\pi I \beta R^2=\pi \cdot 10^{-3} N \cdot m$$

$$Javob: B$$

4. Magnit induksiyalari 0,3 va 0,4 Tl bo'lgan va o'zaro tik yo'nalgan ikkita bir jinsli magnit maydonlar qo'shilganda, natijaviy maydonning magnit induksiyasi necha tesla bo'ladi?

- A) 0,7 B) 0,1 C) 0,2 D) 0,5 E) 0,6

Berilgan

$$B_1=0,3T$$

$$B_2=0,4T$$

$$\alpha=90^\circ$$

$$B_u=?$$

Yechilishi

$$1) B_u=\sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

$$2) B_u=\{(0,3)^2+(0,4)^2\}^{1/2}=0,5$$

$$Javob: D)$$

5. Induksiyasi 0,3 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonga uzunligi 0,6 m bo'lgan 10 A tokli o'tkazgich kiritildi. Magnit maydon tomonidan shu o'tkazgichga ta'sir etishi mumkin bo'lgan eng katta va eng kichik kuchlarni aniqlang (N).

- A) 20; 10 B) 18; 9 C) 0,9; 0,3 D) 10; 0 E) 1,8; 0.

Berilgan

$$B=0.3T$$

$$l=0.6m$$

$$I=10A$$

$$F_{\min}=? F_{\max}=?$$

Yechilishi

$$1) F_{\min}=IB\sin\alpha \Rightarrow \sin\alpha=0 \quad F_{\min}=0$$

$$2) F_{\max}=IB\sin\alpha \Rightarrow \sin\alpha=1 \quad F_{\max}=1.8N$$

Javob: E)

Tavsif: Amper kuchini ifodasida $\sin\alpha$ ni qabul qilish qiymatiga qarab eng kichik va eng katta qiymatlarni baholaymiz

6. 2 A tokli 50 sm uzunlikdagi o'tkazgichga induksiya 0,1 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda 0,05 N kuch ta'sir etadi. O'tkazgich bilan magnit induksiya vektori orasidagi burchak kosinusini toping.

A) $\sqrt{2}/2$ B) $\sqrt{3}/2$ C) $\sqrt{3}/3$ D) $1/4$ E) $1/2$.

Berilgan

$$I=2A$$

$$l=0.5m$$

$$B=0.1T$$

$$\cos\alpha=?$$

Yechilishi

$$1) F=IBl\sin\alpha$$

$$2) \sin\alpha=F/IBl=0.5$$

$$3) \cos\alpha=\sqrt{1-\sin^2\alpha}=\sqrt{3}/2$$

Javob: B)

7. Induksiya 0,2 T bo'lgan magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik ravishda 10 Mm/s tezlik bilan harakatlanayotgan protonga qanday kuch ta'sir qiladi (pN) ($q_0=1.6\cdot 10^{-19}C$).

A) 0,5 B) 0,16 C) 0,32 D) 0,64 E) 0,07

Berilgan

$$\beta=0.2T$$

$$v=10Mm/s$$

$$q=e=1.6\cdot 10^{-19}$$

$$\alpha=90^\circ$$

$$F_L=?$$

Yechilishi

$$1) F_L=q\beta v\sin\alpha$$

$$2) F_L=q\beta v\sin\alpha=1.6\cdot 10^{-19}\cdot 0.2\cdot 10^7=0.32pN$$

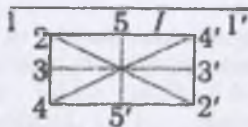
Javob: C)

8. Tokli sim va o'tkazgich ramka rasmda ko'rsatilgandek joylashgan. Ramka qaysi o'q atrofida aylanganda, unda induksion tok paydo bo'lmaydi?

A) 11'. B) 22'. C) 33'. D) 44'. E) 55'.

Ramka 11' atrofida aylanganda magnit oqimni o'zgarish tezligi 0 dan farqli bo'ladi va simli ramkada induksion tok paydo bo'ladi.

Javob: A).



9. Radiusi 5 sm bo'lgan doirasimon yuza induksiya 2 bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Induksiya vektori doira sirti normali bilan 0° burchak hosil qilad Sirtni kesib o'tuvchi magnit oqimni toping (mVb).

A) 3,14 B) 10 C) 30,5 D) 15,7. E) 8

Berilgan:

$$R=5\cdot 10^{-2}m$$

$$B=2T$$

$$\alpha=0^\circ$$

$$F=?$$

Yechilishi:

$$1) F=BS\cos\alpha$$

$$2) F=2\cdot 3,14\cdot (5\cdot 10^{-2})^2\cdot 1=15,7mVb$$

Javob: D)

10. Induksiya V bo'lgan bir jinsli magnit maydonda yuzi S bo'lgan ramka joylashgan (rasimga q.). Ramka tekisligining normali va magnit induksiya vektori bizga yonalgan. Ramkani bc o'q

atrofida 90° ga burishdi. Bunda ramka orqali magnit oqimning o'zgarishi qanday?

- A) $-BS/2$ B) $-BS$ C) $2BS$ D) $BS/4$ E) 0

Berilgan:

$$\alpha = 0^\circ$$

S

B

$\Delta F = ?$

Yechilishi:

- 1) $\Delta F = F_2 - F_1$
- 2) $F_1 = BS \cos \alpha_1 = BS$
- 3) $F_2 = BS \cos(\alpha_1 + 90) = 0$
- 4) $\Delta F = -BS$

Javob: B)

11. Induksiyasi $4/\pi$ Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydon diametri 10 sm bo'lgan va 1 A tok o'tayotgan o'ram bor. O'ramning tekisligi magnit induksiya vektoriga parallel O'ramni uning tekisligi magnit induksiya vektoriga tik bo'ladigan qilib 90° ga burish uchun necha joul ish bajarish kerak?

- A) 10^{-2} B) $\pi 10^{-4}$ C) $5 \cdot 10^{-3}$ D) $\pi \cdot 10^{-2}$ E) $10^{-4}/\pi$

Berilgan:

$$I = 1A$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$d = 0,1m$$

$$B = \frac{4}{\pi} T$$

$\alpha = ?$

Yechilishi:

- 1) $A = \Delta W$
- 2) $\Delta W = |W_2 - W_1|$
- 3) $W_2 = 0$
- 4) $A = W_1 = \frac{LI^2}{2}$
- 5) $LI = BS$
- 6) $A = \frac{BSI}{2} = \frac{\frac{4}{\pi} \pi d^2}{2} I = \frac{d^2 I}{2} = \frac{0,01 \cdot 1}{2} = 0,005J.$

Javob: C)

12. Konturni kesib o'tuvchi magnit oqim 2 s da 10 dan 2 Vb gacha tekis kamaydi. Konturda hosil bo'lgan induksh EYuK ni toping (V).

- A) 10 B) 8 C) 4 D) 2 E) 0

Berilgan:

$$t = 2s$$

$$F_1 = 10Wb$$

$$F_2 = 2Wb$$

$\varepsilon_{ind} = ?$

Yechilishi:

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{dF}{dt} = -\frac{F_2 - F_1}{t} = \frac{10 - 2}{2} = 4V$$

Javob: C)

13. O'tkazgichdan yasalgan halqaning yuzi 100 sm^2 . Ung tik yo'nalgan holda kesib o'tuvchi magnit maydon induksiya yasi $B = 0,1 + 0,01t$ qonun bo'yicha o'zgaradi. Bu yerda B =Tesla, t=sekund. Halqada hosil bo'luvchi induksiya EYuK qanday (mV) bo'ladi?

- A) 0,01 B) 0,1 C) 1 D) 10

Berilgan:

$$S = 100 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$B = 0,1 + 0,01t$$

$\varepsilon = ?$

Yechilishi:

$$\varepsilon = \frac{dF}{dt} = \frac{dB}{dt} S = 10^{-2} \cdot 0,01 = 0,1mV$$

Javob: B)

14. Uzunligi 0,3 m bo'lgan to'g'ri o'tkazgich magnit maydoni induksiya chiziqlariga 30° burchak ostida 6 m/s tezlik bilan kesib o'tadi. Tezlik yo'nalishi o'tkazgichga tik. O'tkazgichda induksiyalanuvchi EYuK 3,6 V ga teng bo'lsa maydonning magnit induksiyasi necha tesla?

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 6

Berilgan:

$$l = 0,3m$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$v = 6 \frac{m}{s}$$

$$\varepsilon = 3,6V$$

$$B=?$$

Yechilishi:

$$1) \varepsilon = Blv \sin \alpha$$

$$2) B = \frac{\varepsilon}{vl \sin \alpha} = \frac{3,6}{6} \cdot 0,3 \cdot 0,5 = \frac{7,2}{1,8} = 4 T.$$

Javob: D)



III BOBGA DOIR TESTLAR

1. Tokli berk kontur bir jinsli magnit maydonda o'zini qanday tutadi?

- A) harakatlanmaydi.
- B) maydon kuchliroq soha tomon ilgarilanma harakat qiladi.
- C) massa markazidan o'tuvchi o'q atrofida buriladi.
- D) maydondan tashqariga intiladi.
- E) maydon kuchsizroq soha tomon ilgarilanma harakat qiladi.

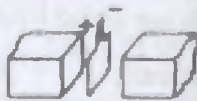
2. Quyida bayon qilingan fikrlarning qaysilari noto'g'ri?

- 1) tokli o'tkazgich atrofida magnit maydon mavjud;
- 2) magnit maydon chiziqlarining yo'nalishi uni hosil qiluvchi tok yo'nalishi bilan aniqlanadi;
- 3) toklarning yo'nalishlari bir xil bo'lgan o'tkazgichlar itarishishadi;
- 4) ering magnit qutblari geografik qutblari bilan ustma-ust tushmaydi;
- 5) magnit maydon chiziqlari maydon hosil qilayotgan tokni chulg'ab olgan berk chiziqlardan iborat.

- A) 1, 2 B) 1 C) 3 D) 4 E) 3, 4.

3. Tokli ramka burilib rasmda ko'rsatilgandek turib qoldi. Magnit maydon yo'alishini va magnit qutblarini toping.

- A) o'ngdan chapga, o'ngda – shimoliy, chapda – janubiy.
- B) chapdan o'ngga, chapda – shimoliy, o'ngda – janubiy.
- C) o'ngdan chapga, o'ngda – janubiy, chapda – shimoliy.
- D) chapdan o'ngga, o'ngda – shimoliy, chapda – janubiy.
- E) TJY.



4. Elektr tokining magnit ta'siri tok qaysi muhitdan o'tganda kuzatiladi?

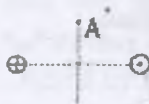
- A) elektrolitlardan B) metallardan C) istagah muhitdan
- D) vakuumdan E) yarimo'tkazgichlardan

5. Elektr tokining issiqlik ta'siri tok qaysi muhitdan o'tganda kuzatilmaydi?

- A) vakuumdan B) yarimo'tkazgichdan C) gazdan D) metallardan E) elektrolitdan

6. Kuchlari bir xil ($I_1 = I_2$) bo'lgan, to'g'ri chiziqli, parallel va qarama qarshi yo'nalishlarda o'quvchi toklar hosil qilgan magnit maydonning A nuqtadagi magnit induksiya vektori qanday yo'nalgan (rasmg q.)?

- A) pastga B) yuqoriga C) chapga D) o'ngga E) nolga teng



7. Muhitdagi cheksiz to'g'ri I tokning o'zidan R masofada hosil qiladigan magnit maydon induksiya'sining ifodasini ko'rsating.

- A) $\frac{\mu_0 I l}{2\pi r}$ B) $\frac{\mu_0 I l}{4\pi r}$ C) $\frac{\mu_0 I l U}{4\pi r}$ D) $\frac{\mu_0 I}{\pi r}$ E) $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

8. Tokli to'g'ri o'tkazgichdan kuzatilayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa 2 marta ortganda, magnit maydon induksiya'si qanday o'zgaradi?

- A) 2 marta kamayadi. B) 4 marta ortadi. C) 4 marta kamayadi.
D) 2 marta kamayadi. E) o'zgarmaydi.

9. I tok o'tayotgan R radiusli aylana shaklidagi kontur markazida magnit maydon induksiya qanday?

- A) $4\pi\mu_0 \frac{I}{2R}$ B) $4\pi\mu_0 \frac{I}{R}$ C) $\mu_0 \frac{I}{2R}$ D) $\mu_0 \frac{I}{R}$ E) $2\mu_0 \frac{I}{R}$

10. Bir-biridan d masofada joylashgan va har biridan bir xil yo'nalishda I tok o'tayotgan ikki o'zaro parallel to'g'ri o'tkazgichlarning o'tasidagi nuqtada magnit maydon induksiya qanday bo'ladi?

- A) $\mu_0 \frac{2I}{\pi d}$ B) $\mu_0 \frac{I}{\pi d}$ C) 0 D) $\mu_0 \frac{I}{2\pi d}$ E) $\mu_0 \frac{4I}{\pi d}$

11. Magnit induksiya 1,5 Tl bo'lgan magnit maydonda uzunligi 4 sm, eni 2 sm bolgan, 0,5 A tok o'tayotgan ramka joylashgan. Ramkaga ta'sir etayotgan kuch momentining eng katta qiymatini toping ($N \cdot m$).

- A) 6 B) 0,75 C) $6 \cdot 10^{-4}$ D) 0,03 E) TJY

12. Bo'yi 4 sm, eni 2 sm bo'lgan ramkadan 10 A tok o'tmoqda. Bu ramka induksiya 0,1 Tl bo'lgan magnit maydonga kiritilganda, ramkaga ta'sir etuvchi kuch momenti qanday bo'ladi? ($mN \cdot m$).

- A) 8 B) 0,8 C) 0,6 D) 0,08 E) 0.

13. Magnit maydon induksiya va o'tkazgichning uzunligi 4 martadan kamayganda bir jinsli magnit maydonda tokli to'g'ri o'tkazgichga ta'sir qiluvchi Amper kuchi qanday o'zgaradi?

- A) 4 marta kamayadi B) 16 marta ortadi. C) 16 marta kamayadi.
D) 4 marta ortadi E) o'zgarmaydi.

14. Induksiya 0,1 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga parallel holatda 10 cm uzunlikdagi 0,5 A tokli to'g'ri o'tkazgich joylashtirilgan. O'tkazgichga magnit maydonning ta'sir kuchi qanday (N)?

- A) 0 B) 0,005 C) 0,05 D) 0,5 E) 1

15. Uzunligi 20 sm bo'lgan va 10 A tok o'tayotgan o'tkazgich induksiya 2 mTl bo'lgan magnit maydonda jo'lashgan. Tok va magnit induksiya yo'nalishlari o'zaro 30° burchak hosil qilsa, Amper kuchi qanday (mN) bo'ladi? $\sin 30^\circ = 0,5$.

- A) 1 B) 2 C) 2,3 D) 4,5 E) 5

16. Bir jinsli magnit maydon induksiya vektori va tokli to'g'ri o'tkazgich orasidagi 30° burchak 2 marta orttirilsa, o'tkazgichga ta'sir qiluvchi Amper kuchi qanday o'zgaradi?

- A) 2 marta ortadi B) 2 marta kamayadi. C) $\sqrt{2}$ marta ortadi
D) $\sqrt{3}$ marta kamayadi E) $\sqrt{3}$ marta ortadi

17. Induksiya 40 mTl bo'lgan magnit maydon aktiv qismining uzunligi 10 sm bo'lgan to'g'ri o'tkazgichga 60 mN kuch bilan ta'sir etmoqda. O'tkazgichdagi tok kuchi 30 A. O'tkazgich magnit maydon induksiya vektori bilan qanday burchak hosil qiladi?

- A) 90° B) 60° C) 45° D) 30° E) 15°

18. Protonning tezligi 4 marta kamayganda va magnit maydon induksiya 2 marta ortganda, magnit maydon tomonidan protonga ta'sir qiluvchi Lorens kuchi qanday o'zgaradi?

- A) 2 marta ortadi B) 4 marta kamayadi C) 4 marta ortadi. D) 2 marta kamayadi

19. Bir jinsli magnit maydonga zaryadlangan zarracha uchib kirganda, unga magnit maydon tomonidan F kuch ta'sir etadi. Agar shu zarrachaning kinetik energiyasi 4 marta orttirilsa, ta'sir etuvchi kuch qanday bo'ladi?

- A) $F/4$ B) $F/2$ C) $4F$ D) $2F$ E) F

20. Magnit maydon induksiyasi 4 marta orttirilganda, magnit maydonda harakatlanayotgan protonga ta'sir etuvchi kuch o'zgarmay qolishi uchun protonning tezligi qanday o'zgarishi kerak?

- A) $\sqrt{2}$ marta ortishi B) 4 marta ortishi C) 2 marta kamayishi.
D) 2 marta ortishi E) 4 marta kamayishi

21. Chap qo'l goidasi yordamida qanday kattaliklarning yo'nalishi aniqlanadi?

- A) Amper va Lorens kuchlarining B) faqat Amper kuchining. C) faqat Lorens kuchining. D) magnit maydonda harakatlanayotgan to'g'ri o'tkazgichdagi induksion tokning.
E) turli shakldagi tokli o'tkazgichlar magnit maydoni induksiyasining.

22. Quyida keltirilgan kuchlarning qaysi biri ish bajarmaydi?

- A) ishqalanish kuchi B) Amper kuchi C) Kulon kuchi
D) Arximed kuchi E) Lorens kuchi.

23. Berk kontur bir jinsli magnit maydonda induksiya vektora yo'nalishi bo'ylab tezlanish bilan ilgariylanma harakatlangan induksiya EYuK hosil bo'ladimi?

- A) bo'lad B) bo'lmaydi
C) bo'ladi va chiziqli ravishda kamayib boradi
D) bo'ladi va chiziqli ravishda ortib boradi
E) bo'ladi va eksponensial ravishda o'zgaradi

24. Tomonlari 4 sm dan bo'lgan teng tomonli uchburchak induksiyasi 2 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Induksiya vektori uchburchak sirti normal bilan 30° burchak hosil qiladi. Sirtni kesib o'tuvchi magnit oqimi toping (mVb).

- A) $0,8\sqrt{3}$ B) $0,4\sqrt{3}$ C) $0,4\sqrt{6}$ D) 1,2

25. Konturdan o'tayotgan magnit oqim 0,3 s davomida 9 da 6 Vb gacha tekis kamaygan bo'lsa, konturda hosil bo'lgan induksiya EYuK necha voltga teng?

- A) 0,01 B) 0,9 C) 4,5 D) 10 E) 50

26. Magnit oqimning o'zgarish tezligi $0,24 \text{ Vb/s}$ bo'lgand: g'altakda 48 V elektr yurituvchi kuch hosil bo'lsa, g'altakdagi o'ramlar soni qanday?

- A) 200 B) 250 C) 260 D) 300 E) 20

27. Solenoidda magnit oqim 2 ms da 3 dan 9 mVb gacha o'zgaradi. Agar solenoidda hosil bo'lgan EYuK 60 V bo'lsa solenoiddagi o'ramlar soni qanday?

- A) 5 B) 20 C) 180 D) 200 E) 300

28. Agar konturdagi tok kuchi 3 marta ortganda magnit maydon energiyasi qanday o'zgaradi?

- A) 3 marta ortadi B) o'zgarmaydi C) 9 marta kamayadi D) 9 marta ortadi.

29. Induktivligi 2 mH bo'lgan g'altakdan 10 A tok o'tmoqda g'altakning magnit maydon energiyasi qanday (J)?

- A) 100 B) 10 C) 0,5 D) 0,1

III BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. 15 A tok o'tayotgan cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgichdan havoda 10 sm masofada joylashgan nuqtadagi magnit maydon induksiya topilsin. ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ T} \cdot \text{m/A}$).
2. Induksiya $0,01\text{ Tl}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonga yuzi 1 sm^2 bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli ramka kiritildi. Agar ramka simlarida 1 A tok oqsa, unga ta'sir qiluvchi kuchning maksimal momenti qanday ($\text{mN} \cdot \text{m}$) bo'ladi?
3. Magnit maydonda turgan, yuzi 2000 sm^2 bo'lgan ramkaga ta'sir qiluvchi maksimal aylantiruvchi moment $0,32\text{ Nm}$ ga, ramkadan o'tayotgan tok kuchi 2 A ga teng. Magnit maydon induksiya qanday (Tl)?
4. Tokli o'tkazgich bilan magnit maydon induksiya chiziqlari orasidagi burchak 30° dan 90° gacha ortsa, Amper kuchi qanday o'zgaradi?
5. Induksiya 4 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga 10^7 m/s tezlik bilan induksiya chiziqlariga perpendikular yo'nalishda uchib kirgan elektronga ta'sir etuvchi kuchning moduli qanday (N)?
6. Magnit induksiya chiziqlariga tik yo'nalishda 2 km/s tezlik bilan harakatlanayotgan $0,4\text{ Kl}$ zaryadga ta'sir qilayotgan Lorens kuchi 8 N ga teng bo'lsa, magnit induksiya qanday?
7. Induksiya $0,2\text{ T}$ bo'lgan magnit maydonga induksiya chiziqlariga tik ravishda elektron uchib kirdi. Unga ta'sir etuvchi kuch $0,32 \cdot 10^{-12}\text{ N}$ bo'lsa, uning tezligi qanday (m/s)? $E = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$.
8. Magnit induksiya vektoriga tik yo'nalishda 2000 m/s tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning traektoriyasi $0,5\text{ m}$ radiusli aylanadan iborat bo'lsa, magnit maydonning bajargan ishi qanday (J)?
9. Induksiya $9,1\text{ mT}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonga induksiya chiziqlariga perpendikular ravishda 16 Mm/s tezlik bilan uchib kirgan elektron harakat traektoriyasining egirlik radiusini toping (sm). $m = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$.
10. Induksiya $0,01\text{ T}$ bo'lgan magnit maydonda proton radiusi 10 sm bo'lgan aylana bo'ylab harakat qilsa, uning maydonga kirib kelish tezligi qanday (km/s)? $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$, $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$.
11. Yuzi $0,2\text{ m}^2$ bo'lgan kontur induksiya 5 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Agar kontur tekisliq induksiya chiziqlariga parallel joylashgan bo'lsa, konti yuzidan o'tayotgan magnit oqimi necha Veber bo'ladi?
12. Yuzi 2 m^2 bo'lgan va magnit maydon induksiya vektoriga tik joylashgan yassi konturdan 10 Vb magnit oqii o'tsa, magnit induksiya qanday (Tl)?
13. Yuzi 25 sm^2 bo'lgan sim ramka bir jinsli magnit maydoi da aylantirilganda, ramkani kesib o'tuvchi magnit oqimi $\Phi = 2,5 \cdot 10^{-4} \cos 6t$ (Vb) qonun bo'yicha o'zgaradi. Magnit maydon induksiya qanday (Tl)?
14. Induksiya $0,4\text{ Tl}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan yuzi 1 m^2 bo'lgan sirtidan o'tayotgan magnit induksiya oqimi $0,2\text{ Vb}$ bo'lsa, sirtga normal va induksiya vektori orasidagi burchak qanday?
15. Berk konturni kesib o'tuvchi magnit oqim $0,4\text{ s}$ davomia $4 \cdot 10^5\text{ Wb}$ ga o'zgardi. Induksiya EYuKni (V) aniqlang.
16. 200 o'ramga ega bo'lgan g'altak ichida magnit oqim $0,2$ dan $0,2$ dan $1,1\text{ Vb}$ gacha ortdi. G'altakda induksiyalanagan EYuK ni aniqlang (V).
17. Agar magnit oqimning o'zgarish tezligi 60 mVb/s bo'lganida g'altakda uyg'onuvchi EYuK

$\varepsilon = 12 \text{ V}$ bo'lsa, g'altakdagi o'ramlar soni qanday?

18. 200 ta o'ramli solenoidda 120 V induksiya EYuKi uyg'otish (hosil qilish) uchun magnit oqimning o'zgarish tezligi qanday (mVb/s) bo'lishi kerak?

19. O'tkazgich halqa orqali magnit oqim 3 s davomida 0,144 Vb ga o'zgargan. O'tkazgichning qarshiligi 0,24 Ω bo'lsa, induksion tok kuchi necha amper?

20. Qarshiligi 5 Ω bo'lgan oramnikesib otayotgan magnit oqim vat bo'yicha rasmda ko'rsatilgandek o'zgarsa, o'ramdagi tok kuchi 2-4s vaqt oralig'ida necha amper bo'ladi?

21. O'ramlari soni 100 ta va yuzi 100 sm^2 bo'lgan ramka induksiyasi 0,01 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda aylanmoqda. Ramkadagi EYuK ning eng katta qiymati 2 V bo'lsa, u necha sekunda bir marta aylanadi?

22. Yuzi 200 sm^2 bo'lgan ramka induksiyasi 0,4 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda 50 rad/s burchak tezlik bilan aylanmoqda. Ramkada hosil bo'ladigan EYuK ning amplituda qiymati necha volt?

23. Uzunligi 0,1 m bo'lgan to'g'ri o'tkazgich induksiyasi 1 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda 10 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Magnit induksiya vektori, tezlik vektori va o'tkazgich o'zaroperpendikulyar. O'tkazgich paydo bo'ladigan induksiya EYuK topilsin (V).

24. 20 sm uzunlikdagi o'tkazgichni bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik yo'nalishda 5 m/s tezlik bilan harakatlantirish natijasida 0,2 V induksiya EYuKi hosil bo'ldi. Magnit maydon induksiyasi qanday (T)?

25. Magnit induksiyasi 0,2 T bo'lgan maydonda aktiv qismining uzunligi 0,5 m bo'lgan o'tkazgich induksiya chiziqlariga 30° burchak ostida qanday tezlik bilan harakatlanganida, unda 0,8 V induksiya EYuKi hosil bo'ladi (m/s)?

26. Induksiyasi 1 T bo'lgan magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik yo'nalishda harakatlanayotgan mis o'tkazgichda 1 A induksion tok hosil bo'lishi uchun o'tkazgichning tezligi necha m/s bo'lishi kerak? O'tkazgichning ko'ndalang kesimi 0,017 mm^2 , misning solishtirma qarshiligi 1,7 $10^{-8} \Omega \text{m}$.

27. Solenoiddan 2 A tok o'tayotganda, u hosil qilgan magnit maydon energiyasi 3 J ga teng bo'ldi. Solenoidning induktivligi qanday (H)?

28. Tebranishlar konturidagi elektr maydonning maksimal energiyasi 80 mJ, g'altakdagi tok kuchining amplituda qiymati 10 A. G'altak induktivligi qanday (mH)?

29. Solenoidda tok kuchi 10 A bo'lganda, magnit maydon energiyasi 2,5 J bo'lsa, hosil bo'lgan magnit maydon oqimi necha veber?

30. Solenoiddagi magnit oqim 2 Wb, maydon energiyasi 5 J bo'lsa, undan o'tayotgan tok kuchi necha amper?

31. Samolyot 900 km/soat tezlik bilan gorizontol holda uchmoqda. Yer magnit maydoni magnit indukssiyasining vertikal tashkil etuvchisi $5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$, samolyot qanotlarining qulochi esa 12 m bo'lsa, uning qanot uchlari orsidagi potentsiallar farqini aniqlang.

32. Induktivligi 0,15 Gn va r qarshiligi juda kichik bo'lgan g'altakdagi tok kuchi 4 A ga teng. G'altakka parallel qilib $R \gg r$ qarshilikli rezistor ulangan. Tok manbai keskin uzib qo'yilganda g'altakda va rezistorda qancha issiqlik miqdori ajraladi?

33. Spiralsimon sim orqali tok o'tganda uning o'ramlari bir-biriga tortiladi va spiral o'z o'qi bo'yicha siqiladi. Buni qanday tushuntirish mumkin?

34. Induksiyasi $2 \cdot 10^{-2} \text{ Tl}$ bo'lgan magnit maydonga perpendikulyar yo'nalishda $0,5 \text{ m}$ uzunlikdagi tokli o'tkazgich joylashtirilgan. Agar magnit maydon tokli o'tkazgichga $0,15 \text{ N}$ kuch bilan ta'sir etayotgan bo'lsa, undan oqayotgan tok kuchini toping.
35. Bir jinsli magnit maydonga joylashtirilgan $0,4 \text{ m}$ uzunlikdagi to'g'ri tokli o'tkazgichga $0,09 \text{ N}$ kuch ta'sir qiladi. Agar o'tkazgichdagi tok kuchi 10 A , maydon induksiyasi 76 mTl bo'lsa, tok va induksiya vektori orasidagi burchakni aniqlang.
36. Bir-biridan 10 sm masofada gorizontall joylashgan ikki parallel shina ustida massasi 100 g bo'lgan yo'g'on o'tkazgich yotibdi. Shinalar tok manbaiga ulanganda o'tkazgich orqali 10 A tok o'tadi. Induksiya vektori shinalar tekisligiga perpendikulyar yo'nalganda o'tkazgich tekis harakat qila boshlaydi. Agar o'tkazgichning shinalarga ishqalanish koeffitsiyenti $0,2$ bo'lsa, magnit maydon induksiyasini aniqlang.
37. Zaryadli zarra 10^6 m/s tezlik bilan magnit maydonda aylana bo'ylab harakatlanadi. Amgnit maydonning induksiyasi $0,3 \text{ Tl}$, aylanish radiusi 4 sm . Zarraning kinetik energiyasi 12 keV bo'lishi uchun uning zaryadi qanday bo'lishi kerak?
38. Magnit induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda elektron bir jinsli magnit maydonga uchib kirdi. Elektronning tezligi $4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$, magnit induksiyasi 1 mTl . Elektronning markazga intilma tezlanishini toping.
39. O'tkazgich konturini kesib o'tadigan magnit oqimi bir tekis $0,8 \text{ Vb}$ ga o'zgarganda induksiya $E_{yK} 1,6 \text{ V}$ ga teng bo'ldi. Magnit oqiminig o'zgarish vaqtini toping. O'tkazgichning qarshiligi $0,32 \text{ Om}$ bo'lsa, induksion tok kuchi qanday?
40. Induksiyasi $0,1 \text{ Tl}$ bo'lgan bir jinsli maydonda kuch chiziqlariga perpendikulyar ravishda uzunligi $0,5 \text{ m}$ bo'lgan o'tkazgich 2 m/s tezlik bilan harakatlanganda hosil bo'lgan induksiya E_{yK} ni aniqlang.
41. 100 o'ramli g'altakda magnit oqimi 5 ms davomida 5 mVb dan $2,5 \text{ mVb}$ gacha tekis kamaygan. Induksiya E_{yK} ni toping.
42. 1 m uzunlikdagi gorizontall sterjen uning bir uchidan o'tgan o'q atrofida aylanmoqda. Induksiyasi $5 \cdot 10^{-6} \text{ Tl}$ bo'lgan magnit maydon kuch chiziqlari aylanish o'qiga parallel. Sterjen sekundiga necha marta aylanganda uning uchlaridagi potentsiallar farqi 1 mV ga teng bo'ladi?
43. Uzunligi 20 sm va diametri 3 sm bo'lgan g'altak 400 o'ramga ega bo'lib, undan 2 A tok o'tadi. G'altakning induktivligi va g'altakdan o'tadigan tok kuchi aniqlansin.
44. Po'lat g'olada magnit induksiya $0,75 \text{ Tl}$. Toklar hosil qilgan magnit magnit maydonning induksiyasi $1,88 \text{ mTl}$ bo'lsa, po'latning magnit singdiruvchanligi qanday?
45. Uzunligi 60 sm va ko'ndalang kesim yuzi 4 sm^2 bo'lgan solenoidning induktivligi $4 \cdot 10^{-7} \text{ Gn}$ ga teng. Solenoid ichida magnit maydon energiyasi zichligi 2 mJ/m^3 bo'lishi uchun solenoiddagi tok kuchi qanday bo'lishi kerak?

Tebranma harakat tabiatda eng ko'p tarqalgan harakatdir. Daraxtlarning shoxi yoki dalalardagi maysalarning tebranib turganini ko'p kuzatganmiz. Dutor, rubob, childirma kabi musiqa asboblarning torlari, osma soat tebrangichi, ichki yonuv dvigateli slindridagi porshenlarning harakati tebranma harakatdir. Motor ishlab turganda mashina va dastgohlarning korpuslari titrab tebranma harakat qiladi. Telefonda gaplashganda, radiodan ovoz chiqqanda, ulardagi yupqa parda membrana tebranma harakat qiladi. Shuningdek, gapirganimizda ham tovush paychalarimizning tebranishi havo molekulariga uzatiladi va tovush paydo bo'ladi.

Tabiatdagi har qanday modda molekulari orasida o'zaro ta'sir mavjuddir. Agar biror sabab elastik muhit molekulasini yoki molekularlar sistemasini muvozonat vaziyatdan chiqarib, ularni tebranma harakat qilishga majbur qilsa, u holda bu harakat qo'shni molekulalarga uzatilib, ular ham tebranma harakatda ishtirok eta boshlaydi. Tebranishlarning vaqt o'tishi bilan fazoda tarqalishi *to'lqin harakat* deb ataluvchi harakatni hosil qiladi. Shuni alohida ta'kidlash lozimki, bunda muhit molekulari ko'chmaydi, balki o'z muvozonati atrofida tebranadi. To'lqinlarning turlari xilma-xil bo'lib, elastik muhitda tarqaluvchi to'lqinlar *mexanik to'lqinlar*dir.



§ 20. MEXANIK TEBRANISH HAQIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR.

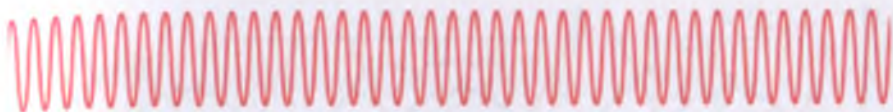
Yuqorida keltirilgan misollar mexanikaviy tebranma harakatga taalluqlidir. Tabiatda mexanik tebranma harakatlardan tashqari mexanikaga oid bo'lmagan davriy ravishda takrorlanib turadigan jarayonlar ham ko'p uchraydi. Teng vaqtlar ichida yoki deyarli teng vaqtlar ichida takrorlanib turadigan jarayonlar *davriy jarayonlar* deyiladi. Masalan, har kungi Quyosh chiqishi va botishi, fasllar almashinishi, Quyosh va oy tutilishlari va hokozalar. Bulardan tashqari o'zgaruvchan tok zanjiridagi zaryad, tok kuchi va kuchlanishning davriy ravishda o'zgarishi, ichki yonish dvigateli slindridagi temperatura va bosim o'zgarishlarining davriy ravishda takrorlanib turishi va boshqalarni ham davriy tebranma jarayonlarga misol qilish mumkin. Shuningdek, mexanik tebranishlar ham davriy jarayonlar sirasiga kirib, ularni umumiy holdagi davriy jarayonlarning bitta mexanik turi deb qarash mumkin.

Agar tebranma harakat qilayotgan jismning koordinatasining vaqt bo'yicha o'zgarishi sinus yoki kosinus qonuniga bo'ysunsa, bunday tebranish *garmonik tebranish* deyiladi. Biz garmonik tebranuvchi erkin tebranishlarni o'rganamiz. Kosinus yoki sinus qonuni bo'yicha tebranuvchi jismlarning umumiy harakat tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad \text{yoki} \quad x = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Garmonik tebranishlar sinus yoki kosinus qonuniga bo'ysunishini quyidagicha tajriba o'tkazish orqali ishonch hosil qilish mumkin: uzunroq ipga qum to'ldirilgan va tagida teshikchasi bo'lgan biror idish osamiz. Idishni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo'yib yuborganimizda teshikchadan qum to'kila boshlaydi. Endi polga to'shalgan qog'ozni tebtanish tekisligiga ko'ndalang yo'nalishda asta torta boshlaymiz. Qog'ozga to'kilgan qumning izi bizga sinus yoki kosinus grafigini eslatadi (20.1-rasm).

Agar tebranish jismni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo'yib yuborilgach, ichki kuch ta'siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni *erkin tebranish* deyiladi. 20.1-rasmda ko'rilgan hol ham erkin tebranishdir. Bundan tashqari, garmonik tebranishning majburiy va so'nuvchi tebranish deb nomlanadigan ko'rinishlari ham bor.



20.1-rasm

Agar tebranish tashqi majburlovchi kuch ta'siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni **majburiy tebranish** deyiladi. Agar tebranish jismni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo'yib yuborilgach, ichki kuch va harakatga qarshilik kuchlari ta'siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni **so'navchi tebranish** deyiladi.

Ushbu bobda biz faqat erkin tebranish va uni xarakterlovchi kattaliklar bilan batafsil tanishib chiqamiz.

Tebranma harakat qilayotgan jismning bir marta to'liq tebranishi uchun ketgan vaqt **tebranish davri** deyiladi va T bilan belgilanadi. Tebranish davrining o'lchov birligi $[T]=s$.

Tebranma harakat qilayotgan jismning bir sekund vaqt ichidagi tebranishlar soni **tebranish chastotasi** deyiladi va ν bilan belgilanadi. Tebranish chastotasining o'lchov birligi $[\nu]=s^{-1}=Gs$.

Tebranma harakat qilayotgan jismning 2π sekund vaqt ichidagi tebranishlar soni **siklik (doiraiy) chastota** deyiladi va ω bilan belgilanadi. Siklik chastotaning o'lchov birligi $[\omega]=s^{-1}=Gs$.

Tebranma harakat qilayotgan jismning muvozonat vaziyatidan eng katta siljish masofasi tebranish amplitudasi deyiladi va x_m yoki A bilan belgilanadi. Tebranish amplitudasining o'lchov birligi $[x_m]=m$.

Tebranish davri, tebranish chastotasi va siklik chastota kattaliklari orasidagi o'zaro bog'liqlik quyidagicha bo'ladi:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}, \quad \nu = \frac{1}{T}$$

Agar jism t vaqt ichida N marta tebransa, tebranish davri, tebranish chastotasi va siklik chastota quyidagicha bo'ladi:

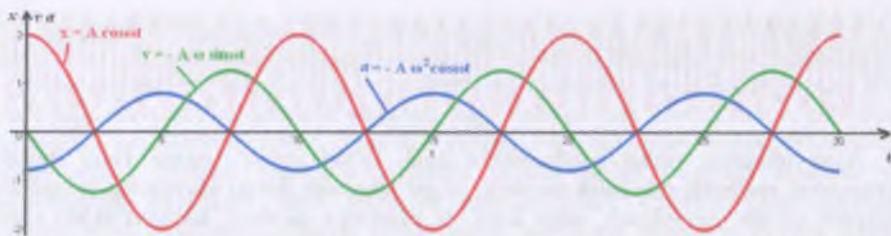
$$T = \frac{t}{N}, \quad \nu = \frac{N}{t}, \quad \omega = 2\pi \cdot \frac{N}{t}$$

Tezlik va tezlanish koordinatadan vaqt bo'yicha olingan hosilalar ekanligini yaxshi bilamiz. Shunday ekan garmonik tebranayotgan jismning tezlik va tezlanish tenglamalari ham garmonik qonunga bo'ysunadi.

Muvozonat vaziyatidan chiqarib qo'yib yuborilgan (harakat tenglamasi kosinus qonuniga bo'ysunuvchi), erkin tebranayotgan jismning koordinatasi, tezligi va tezlanishining vaqt bo'yicha o'zgarishi tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$x = x_m \cos \omega t \text{ [m]}, \quad \dot{x} = -\omega x_m \sin \omega t \text{ [m/s]}, \quad \ddot{x} = -\omega^2 x_m \cos \omega t \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Garmonik tebranayotgan jismning koordinatasi, tezligi va tezlanishining vaqtga bog'lanish graflari quyidagicha bo'ladi:



20.2-rasm

Garmonik tebranayotgan jismning koordinata, tezlik va tezlanishining amplituda qiymatlari quyidagicha bo'ladi:

$$x_m = A, \quad v_m = \omega A, \quad a_m = \omega^2 A$$

Ma'lumki, har qanday harakatlanayotgan jism mexanik energiyaga ega bo'ladi. Shuning uchun, tebranma harakat ham o'z energiyasiga ega bo'ladi. Kinetik energiyaning

$E_k = \frac{mv^2}{2}$ formulasiga yuqorida yozilgan $v = -\omega x_m \sin \omega t$ formulani qo'yadigan bo'lsak, u

holda tebranma harakatda kinetik energiya

$$E_k = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t = E_m \sin^2 \omega t$$

qonunga muvofiq o'zgaradi. Bu yerda $E_m = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$ umumiy mexanik energiya.

Demak, garmonik tebranma harakat qilayoigan jismning to'liq mexanik energiyasi quyidagicha bo'lar ekan:

$$E_m = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$$

Garmonik tebranuvchi jismlarning davriy ravishda kinetik va potensial energiyalari bir-biriga aylanib turadi. Bu haqda prujinali va matematik mayatniklarda batafsil tanishamiz.

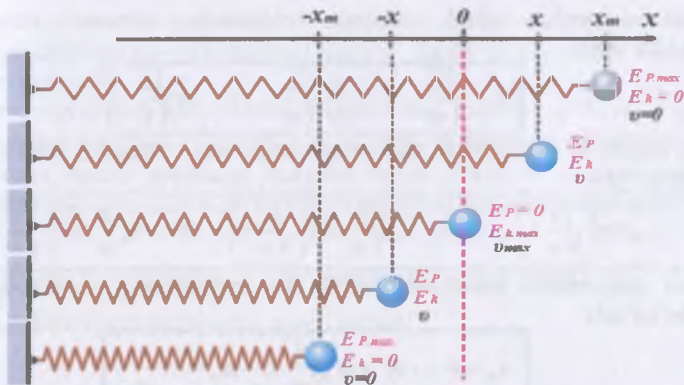


1. Tebranma harakat deb nimaga aytiladi? Davriy jarayon nima?
2. Majburiy va so'nuvchi teranish tushunchalariga ta'rif keltiring.
3. Tebranish davri, chastotasi va siklik chastota tushunchalariga ta'rif bering. Ularni bog'lovchi ifodalarni yozing.
4. Tebranish amplitudasi nima? Tezlik va tezlanish amplitudasi-chi?
5. Tebranma harakatda umumiy energiya formulasini yozing.



§ 21. PRUJINALI MAYATNIK

Bikrligi k bo'lgan prujinaga mahkamlangan m massali jism gorizontal silliq sirtida turgan bo'lsin. Bu jismni x_m masofaga cho'zib qo'yib yuborilganda elastiklik kuchi ta'siri ostida erkin tebranma harakat vujudga keladi. Biz bundan keyin prujinaga osilgan sharchaning tebranishini qisqacha **prujinali mayatnik** deb ataymiz. 21.1-rasmda tebranma harkatning har xil vaziyatlari ko'rsatilgan.



21.1-rasm

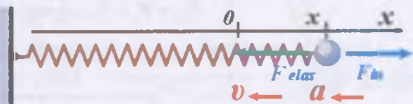
Yuqoridagi rasmdan ko'rinib turibdiki, tebranish jarayonida potensial va kinetik energiyalar davriy ravishda bir-biriga aylanib turar ekan.

Elastiklik kuchi dastlab sharchaga tezlanish beradi. Natijada inersiya kuchi vujudga keladi. Inersiya kuchi va elastiklik kuchi miqdoran teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

$$F_m = -F_{elas} \rightarrow m\ddot{x} = -kx, \rightarrow \ddot{x} = -\frac{k}{m}x, \rightarrow \ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$

Demak, prujinali mayatnikda tezlanishning koordinataga bog'liqligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\ddot{x} = -\frac{k}{m}x \text{ yoki } \ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$



21.2-rasm

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, koordinatadan olingan ikkinchi tartibli hosila yana koordinataga bog'liq bo'lib chiqayapti. Matematikadan ma'lumki, $y = \sin x$ va $y = \cos x$ funksiyalarning ikkinchi tartibli hosilasi yana shu funksiyalarga bog'liq bo'lib chiqadi. Demak, prujinali mayatnikda ham koordinataning vaqtga bog'lanish tenglamasi sinus yoki kosinus qonuniga bo'ysunar ekan.

Fikrimizni quyidagicha isbotlashga urinib ko'ramiz: Prujinaga mahkamlangan jism dastlab muvozonat vaziyatdan chiqarilib, so'ngra erkin tebranish kuzatilayotgani uchun harakat tenglamasi kosinus qonuniga bo'ysunayapti deb hisoblaylik, ya'ni $x = x_m \cos \omega t$ bo'ladi. Bundan ketma-ket ikki marta vaqt bo'yicha hosila olib, tezlanishni topamiz.

$$\ddot{x} = -\omega^2 x_m \sin \omega t, \rightarrow \ddot{x} = -\omega^2 x_m \cos \omega t = -\omega^2 x$$

Demak,

$$\omega^2 = \frac{k}{m}, \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

bo'lar ekan. Harkat tenglamasi esa

$$x = x_m \cos \omega t = x_m \cos \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t \right)$$

ko'rinishda bo'lar ekan.

Prujinali mayatnikda siklik chastota, tebranishlar chatotasi, tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Prujinali mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog'lanish tenglamalari quyidagicha bo'ladi:

$$x = x_m \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right), \quad \vartheta = -x_m \sqrt{\frac{k}{m}} \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right), \quad a = -x_m \frac{k}{m} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right)$$

Prujinali mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning amplituda qiymatlari quyidagicha bo'ladi:

$$x_m = A, \quad \vartheta_m = A \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad a_m = A \frac{k}{m}$$

Prujinali mayatnikda potentsial, kinetik va to'liq energiyalarni hisoblaylik. Potentsial energiya ushbu

$$W_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{2} (x_m \cos \omega t)^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2 \omega t = W_{pm} \cos^2 \omega t$$

ko'rinishda bo'ladi. Kinetik energiya ham xuddi shunga o'xshash

$$W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{m}{2} (-x_m \omega \sin \omega t)^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t = W_{km} \sin^2 \omega t$$

topiladi. Umumiy energiya esa kinetik va potentsial energiyalar yig'indisiga teng.

$$W_{um} = W_p + W_k = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2 \omega t + \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$$

Demak, prujinali mayatnikda potentsial, kinetik va to'liq energiya quyidagicha bo'lar ekan:

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2 \omega t = W_{pm} \cos^2 \omega t \\ W_k &= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t = W_{km} \sin^2 \omega t \\ W_{um} &= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \end{aligned}$$

Energiyalarning vaqt bo'yicha o'zgarish grafiklari keyingi mavzuda 22.2-rasmda tasvirlangan bo'lib, bu barcha garmonik erkin tebranayotgan jismlar uchun o'rindir.



1. Prujinaga osilgan yukning harakatini nima uchun garmonik tebranish deyiladi?
2. Prujinali mayatnikning tebranish davri, chastotasi va siklik chastotasi formulalarini yozib bering.
3. Prujinali mayatnik uchun koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog'lanish tenglamalarini yozib bering. Tezlik va tezlanishning amplitudalarini yozing.
4. Prujinali mayatnik uchun kinetik, potentsial va to'la energiyalarni yozib bering.



§ 22. MATEMATIK MAYATNIK

Vaznsiz va uzun ipga osilgan, kichik burchaklar hosil qilib tebranuvchi, kichik o'lchamli va og'ir sharchaga *matematik mayatnik* deyiladi.

Matematik mayatnikda ipga osilgan sharcha muvozonat vaziyatidan kichikroq biror burchakka og'dirib qo'yib yuborilganda og'irlik kuchi ta'siri ostida erkin tebranma harakat vujudga keladi.

Matematik mayatnikda ham prujinali mayatnikdagi kabi davriy ravishda potentsial va kinetik energiyalar bir-biriga aylanib turadi. Og'irlik kuchining trayektoriyaga urinma P_{tan} tashkil etuvchisi dastlab sharchaga tezlanish beradi. Natijada inersiya kuchi vujudga keladi. Inersiya kuchi va tashkil etuvchi kuch miqdoran teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

$$F_m = P_{\text{tan}} = -P \sin \alpha, \rightarrow ma = -mg \sin \alpha, \rightarrow a = -g \sin \alpha = -g \frac{x}{\ell}$$

α burchak juda kichik bo'lganda, $a \approx a_x$ bo'ladi.

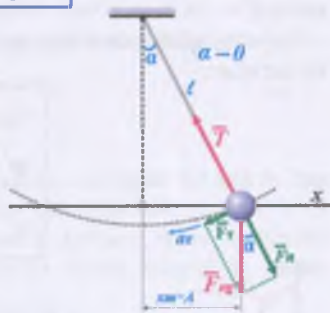
$$a_x = -\frac{g}{\ell} x, \rightarrow \ddot{x} = -\frac{g}{\ell} x$$

Demak, matematik mayatnikda tezlanishning koordinataga bog'liqligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$a_x = -\frac{g}{\ell} x \quad \text{yoki} \quad \ddot{x} = -\frac{g}{\ell} x$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, koordinatadan olingan ikkinchi tartibli hosila yana koordinataga bog'liq bo'lib chiqayapti. Matematikadan ma'lumki, $y = \sin x$ va $y = \cos x$ funksiyalarning ikkinchi tartibli hosilasi yana shu funksiyalarga bog'liq bo'lib chiqadi. Demak, matematik mayatnikda ham koordinataning vaqtga bog'lanish tenglamasi sinus yoki kosinus qonuniga bo'ysunar ekan.

Fikrimizni quyidagicha isbotlashga urinib ko'ramiz: Ipga osilgan sharcha dastlab muvozonat vaziyatdan chiqarilib, so'ngra erkin tebranish kuzatilayotgani uchun



22.1-rasm

harakat tenglamasi kosinus qonuniga bo'ysunayapti deb hisoblaylik. $x = x_m \cos \omega t$ dan ketma-ket ikki marta vaqt bo'yicha hosila olib, tezlanishni topamiz.

$$\dot{x} = -\omega x_m \sin \omega t, \rightarrow \ddot{x} = -\omega^2 x_m \cos \omega t = -\omega^2 x$$

Demak,

$$\omega^2 = \frac{g}{\ell}, \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

bo'lar ekan. Harakat tenglamasi esa

$$x = x_m \cos \omega t = x_m \cos \left(\sqrt{\frac{g}{\ell}} t \right)$$

ko'rinishda bo'lar ekan.

Matematik mayatnikda siklik chastota, tebranishlar chastotasi, tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\ell}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Matematik mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog'lanish tenglamalari quyidagicha bo'ladi:

$$x = x_m \cos\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}} t\right), \quad \vartheta = -x_m \sqrt{\frac{g}{\ell}} \sin\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}} t\right), \quad a = -x_m \frac{g}{\ell} \cos\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}} t\right)$$

Matematik mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning amplituda qiymatlari quyidagicha bo'ladi:

$$x_m = A, \quad \vartheta_m = A \sqrt{\frac{g}{\ell}}, \quad a_m = A \frac{g}{\ell}$$

Matematik mayatnikda potensial, kinetik va to'liq energiyalar qanday bo'lishini hisoblaylik. Kinetik energiya

$$W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{m}{2}(-x_m \omega \sin \omega t)^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t = W_{um} \sin^2 \omega t$$

bo'ladi. Umumiy energiya ushbu

$$W_{um} = mg \Delta h = mg \ell (1 - \cos \alpha) = m \omega^2 \ell^2 (1 - \cos \alpha) = m \omega^2 \frac{\ell^2}{\sin^2 \alpha} (1 - \cos \alpha) = m \omega^2 \frac{A^2}{(1 - \cos \alpha)(1 + \cos \alpha)} (1 - \cos \alpha) \approx \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$$

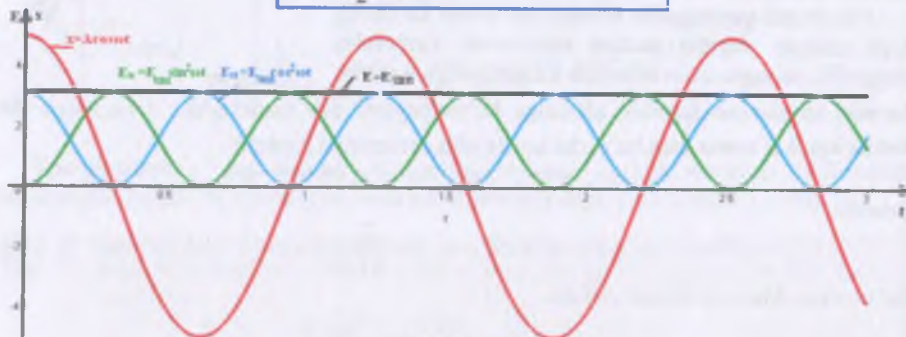
ketme-ketlikda aniqlanadi. Potensial energiya esa umumiy energiyadan kinetik energiyani ayirish orqali

$$W_p = W_{um} - W_k = W_{um} - W_{um} \sin^2 \omega t = W_{um} (1 - \sin^2 \omega t) = W_{um} \cos^2 \omega t$$

topiladi.

Shunday qilib, matematik mayatnikda potensial, kinetik va to'liq energiya quyidagicha bo'lar ekan:

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2 \omega t = W_{um} \cos^2 \omega t \\ W_k &= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t = W_{um} \sin^2 \omega t \\ W_{um} &= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \end{aligned}$$



22.2-rasm

Garmonik tebranuvchi barcha mayatniklarda kinetik va potensial energiya davriy ravishda bir-biriga aylanib turadi, lekin to'liq mexanik energiya vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Potensial va kinetik energiyalar tebranish chastotasi koordinata (yoki tezlik, yoki tezlanish) chastotasidan ikki marta katta bo'lib, jism bir tebranganda potensial va kinetik energiyalar ikki marta tebranishga (biri-biriga aylanishga) ulguradi (22.2-rasm).

Matematik mayatnik uchun xususiy hollar:

Quyidagi keltirib chiqariladigan formulalar ko'p uchraydigan masalalarga doir bo'lib, ushbu formulalarni bilish masalalar yechish jarayonini osonlashtiradi.

Agar matematik mayatnik tinch turgan yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotgan aravachaga o'rnatilgan bo'lsa, uning tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Agar matematik mayatnik tezlanish bilan harakatlanayotgan boshqa bir jismga bog'langan bo'lsa, aytaylik liftda, aravada, mashinada yoki poezdida bo'lsa, u holda mayatnikning tebranish davri qanday bo'ladi degan savol tug'iladi. Keling, matematik mayatnik qiya tekislik bo'ylab tezlanish bilan harakatlanayotgan bo'lsa, mayatnikning tebranish davri qanday bo'lishiga qiziqib ko'raylik.

Qiyalik bo'ylab tepaga a tezlanish bilan chiqib ketayotganda jismning og'irligi

$$P = m\sqrt{g^2 + a^2 + 2ga \sin \alpha}$$

bo'lishi bilan tanishgan edik. Shuning uchun, qiyalik bo'ylab tapaga a tezlanish bilan chiqib ketayotgan aravachaga o'rnatilgan matematik mayatnikning tebranish davri

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{P/m}} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g^2 + a^2 + 2ga \sin \alpha}}$$

ga teng bo'ladi.

Demak, agar matematik mayatnik o'rnatilgan aravacha gorizont bilan α burchak tashkil qiluvchi qiya sirt bo'ylab a tezlanish bilan tepaga chiqib ketayotgan bo'lsa, mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g^2 + a^2 + 2ga \sin \alpha}}$$

Yuqoridagi formuladan pastga tomon tezlanish bilan tushib kelatgan hol uchun ham chiqarish mumkin. Buning uchun burchak α o'rniga $-\alpha$ qo'yish kifoyadir.

Demak, agar matematik mayatnik o'rnatilgan aravacha gorizont bilan α burchak tashkil qiluvchi qiya sirt bo'ylab a tezlanish bilan pastga tushib kelayotgan bo'lsa, mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g^2 + a^2 - 2ga \sin \alpha}}$$

Yuqoridagi formulani qiya sirt bo'ylab ishqalanishsiz tushayotgan hol uchun ham yozish mumkin. Qiyalik bo'ylab pastga ishqalanishsiz tushishdagi tezlanish esa

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = g \sin \alpha$$

ga teng bo'ladi. Bundan esa qiyalik bo'ylab pastga ishqalanishsiz tushayotgan aravachadagi matematik mayatnikning tebranish davri

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g^2 + (g \sin \alpha)^2 - 2g(g \sin \alpha) \sin \alpha}} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g^2 + g^2 \sin^2 \alpha - 2g^2 \sin^2 \alpha}} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g^2(1 - \sin^2 \alpha)}} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g \cos \alpha}}$$

ga teng bo'lishini ko'rishimiz mumkin bo'ladi.

Demak, agar matematik mayatnik o'rnatilgan aravacha gorizont bilan α burchak tashkil qiluvchi qiya sirt bo'ylab ishqalanishsiz tushib kelayotgan bo'lsa, mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo'lar ekan:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g \cos \alpha}}$$

Agar matematik mayatnik o'rnatilgan jism biror tezlanish bilan tik yuqoriga, tik pastga yoki gorizontal yo'nalishda harakatlanayotgan bo'lsa, u holda

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{P/m}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2 + 2ga \sin \alpha}}}$$

formuladagi burchak α o'miga mos holda $90^\circ, -90^\circ, 0^\circ$ qo'yamiz. Shunda formulani soddalashtirsak, mos holda

$$T_{\uparrow} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}}, \quad T_{\downarrow} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g-a}}, \quad T_{\rightarrow} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}}$$

formulalarga ega bo'lamiz.

Demak, agar matematik mayatnik a tezlanish bilan tik tepaga, tik pastga va gorizontal holatlarda harakatlantirilsa, ushbu holatlarda mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

$$T_{\uparrow} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}}, \quad T_{\downarrow} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g-a}}, \quad T_{\rightarrow} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}}$$

Agar matematik mayatnik vaznsizlik holatida (erkin tushayotgan yoki kosmik kemada) bo'lsa, uning tebranish davri $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g-g}}$ formulaga ko'ra $T \rightarrow \infty$ bo'ladi, ya'ni mayatnik tebranmay qo'yadi.

Mexanika bo'limidan ma'lumki, Yer sirtidan ko'tarilgan sari erkin tushish tezlanish kamayib boradi. Xuddi shuningdek, Yer qa'riga kirib borgan sari ham erkin tushish tezlanish kamayib boradi. Bundan esa shunday xulosa qilish mumkinki, matematik mayatnikning tebanish davri erkin tushish tezlanishiga $T \sim 1/\sqrt{g}$ ko'rinishda bog'liq bo'lgani uchun Yer sirtidan balandlikka ko'tarilgan sari yoki Er ichkarisiga kirgan sari tebranish davri ortib borishkerak. Ana shu ikki holni qarab ko'raylik.

Agar matematik mayatnik Yer sirtidan tepaga ko'tarila borsa, balandlashgan sari erkin tushish tezlanishining son qiymati kamaygani bois, tebranish davri ortib boradi. Chunki, baland nuqtalarda mayatnikdagi sharchani Yer kuchsizroq tortadi. Yer sirti uchun mayatnikning tebranish davri

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

hamda Yer sirtidan h balandlik uchun erkin tushish tezlanishining qiymati

$$g_h = g_0 \left(\frac{R}{R+h} \right)^2$$

ekanini hisobga olsak, h balandlik uchun tebranish davri

$$T_h = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_h}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_0 \left(\frac{R}{R+h} \right)^2}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_0}} \frac{R+h}{R} = T_0 \frac{R+h}{R}$$

ko'rinishda bo'ladi.

Demak, agar matematik mayatnikning Yer sirtidagi tebranish davri T_0 bo'lsa, Yer sirtidan h balandlikdagi tebranish davri T_h quyidagicha bo'lar ekan:

$$T_h = T_0 \frac{R+h}{R}$$

Agar matematik mayatnik Yer sirtidan ichkariga kira borsa, chuqurlashgan sari erkin tushish tezlanishining son qiymati kamaygani bois, tebranish davri ortib boradi. Chunki, ichkari nuqtalarda mayatnikdagi sharchani Yer kuchsizroq tortadi. Yer sirti uchun mayatnikning tebranish davri

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

hamda Yer sirtidan h chuqurlik uchun erkin tushish tezlanishining qiymati

$$g_h = g_0 \frac{R-h}{R}$$

ekanini hisobga olsak, h chuqurlik uchun tebranish davri

$$T_h = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_h}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_0 \frac{R-h}{R}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_0}} \cdot \sqrt{\frac{R}{R-h}} = T_0 \cdot \sqrt{\frac{R}{R-h}}$$

ko'rinishda bo'ladi.

Demak, agar matematik mayatnikning Yer sirtidagi tebranish davri T_0 bo'lsa, Yer sirtidan h chuqurlikdagi tebranish davri T_h quyidagicha bo'ladi:

$$T_h = T_0 \sqrt{\frac{R}{R-h}}$$

Ikkita turlicha uzunlikdagi matematik mayatniklar berilgan bo'lib, shu mayatniklar uzunliklari yig'indisiga yoki ayirmasiga teng uzunlikdagi uchinchi mayatnikning tebranish davrini aniqlash so'ralgan bo'lsin. Shuni aniqlaylik. Ikkita berilgan mayatniklarni tebranish davrlarini bilgan holda ularning uzunliklarini aniqlash mumkin. Topilgan uzunliklarni qo'sish yoki ayirish orqali uchinchi mayatnikning uzunligini

$$\begin{cases} T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} \\ T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2}{g}} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \ell_1 = \frac{gT_1^2}{4\pi^2} \\ \ell_2 = \frac{gT_2^2}{4\pi^2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \ell_3 = \ell_1 \pm \ell_2 = \frac{g}{4\pi^2}(T_1^2 \pm T_2^2) \\ \ell_3 = \frac{gT_3^2}{4\pi^2} \end{cases}$$

topiladi. Bundan esa uchinchi mayatnikning tebranish davrini aniqlalanadi.

$$\frac{gT_3^2}{4\pi^2} = \frac{g}{4\pi^2}(T_1^2 \pm T_2^2), \rightarrow T_3 = \sqrt{T_1^2 \pm T_2^2}$$

Demak, ℓ_1 va ℓ_2 uzunlikdagi mayatniklar davrlari mos ravishda T_1 va T_2 bo'lsa, $\ell_3 = \ell_1 \pm \ell_2$ uzunlikdagi mayatnikning davri T_3 quyidagicha bo'lar ekan:

$$T_3 = \sqrt{T_1^2 \pm T_2^2}$$

Ikkita turli uzunliklardagi mayatniklar berilgan bo'lib, qandaydir vaqt ichida ulardan biri N_1 marta, ikkinchisi esa N_2 marta tebrangani ma'lum bo'lsa, berilgan kattaliklarni bog'lovchi formula hosil qilaylik. Bunda mayatniklarning tebranish davrlari

$$T_1 = \frac{t}{N_1} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} \quad \text{va} \quad T_2 = \frac{t}{N_2} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}$$

ko'rinishda bo'ladi. Bundan t vaqtlar

$$t = 2\pi N_1 \sqrt{\frac{\ell_1}{g}} \quad \text{va} \quad t = 2\pi N_2 \sqrt{\frac{\ell_2}{g}}$$

bo'ladi. Bu vaqtlarni tenglashtirib va soddalashtirishlardan keyin

$$2\pi N_1 \sqrt{\frac{\ell_1}{g}} = 2\pi N_2 \sqrt{\frac{\ell_2}{g}} \rightarrow \frac{\ell_1}{\ell_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

ifodaga ega bo'lamiz.

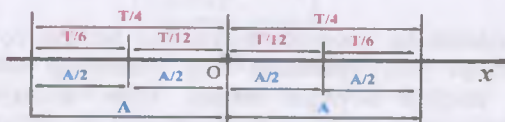
Demak, teng vaqt ichida N_1 va N_2 marta tebranuvchi ℓ_1 va ℓ_2 uzunlikdagi mayatniklar uchun berilgan kattaliklarni bog'lovchi ifoda quyidagicha bo'lar ekan:

$$\frac{\ell_2}{\ell_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

Kichik tebranishlarda fizik mayatnikning (shuningdek prujinali va matematik mayatnikning ham) tebranish davri uning tebranish amplitudasiga bog'liq emas ekan. Tebranish davri amplitudaga bog'liq bo'lmagan tebranishlar **izoxron tebranishlar** deyiladi. Mayatniklarning izoxronlik xususiyati ulardan vaqt o'lchagich asbob sifatida foydalanishga yordam beradi. $8^\circ - 10^\circ$ va undan katta chetlanishlarda mayatnikning izoxronligi buziladi.

Garmonik tebranuvchi barcha mayatniklarda quyidagi mulohaza o'rinli:

Muvozanat vaziyatidan chiqarib qo'yib yuborilgan jism amplitudaning dastlabki yarmini $T/6$ vaqtda keyingi yarmini $T/12$ vaqtda bosib o'tadi, amplituda yo'lini esa $T/4$ vaqtda bosib o'tadi.



22.3-rasm

Matematik uchun yana ko'plab xususiy formulalar keltirib chiqarish mumkin.

1. Matematik mayatnikning harakatini nima uchun garmonik tebranish deyiladi?
2. Matematik mayatnikning tebranish davri, chastotasi va siklik chastotasi formulalarini yozib bering.
3. Matematik mayatnik uchun koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog'lanish tenglamalarini yozib bering. Tezlik va tezlanishning amplitudalarini yozing.
4. Matematik mayatnik uchun kinetik, potensial va to'la energiyalarni yozib bering.
5. Yer sirtidan biror balandlikdagi yoki chuqurlikdagi mayatniklarning tebranish davrlari qanday bo'ladi?
6. Tezlanishli harakatga ega bo'lgan matematik mayatnik uchun qanday formulalar yozish mumkin?



§ 23. TEBRANISHLARNI QO'SHISH.

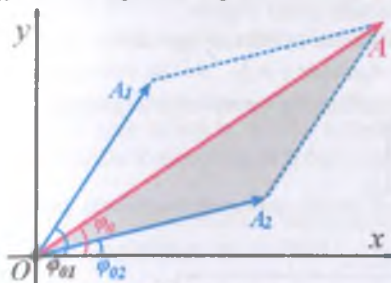
Moddiy nuqta bir vaqtning o'zida bir nechta tebranishlarda ishtirok etishi mumkin. Bunda natijalovchi harakat tenglamasi va uning proyeksiyasini aniqlash uchun tebranishlarni qo'shish zarur bo'ladi. Natijada yanada murakkabroq tebranish hosil bo'ladi va uning xarakteri qo'shiluvchi tebranishlarning fazalari, chastotalari va amplitudalariga bog'liq bo'ladi. Garmonik tebranishlarning qo'shilishga doir bir nechta hollarni batafsil qarab chiqaylik.

Bir chiziqda yotgan ikki kogerent tebranishlarni qo'shish:

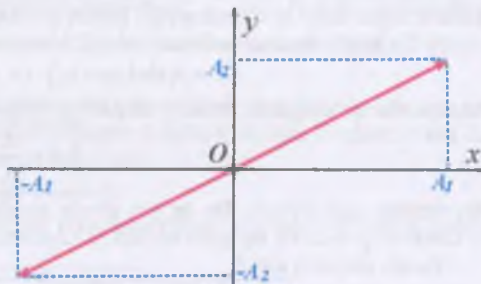
Kogerent tebranishlar deb chastotalari bir xil yoki bir-biridan cheksiz kichik qiymatga farq qiladigan va fazalar farqi vaqt bo'yicha o'zgarmaydigan tebranishlarga aytiladi. Aytayik, moddiy nuqta bir to'g'ri chiziqda yotuvchi ushbu

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_{01}) \quad \text{va} \quad x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_{02})$$

ikkita tebranishlarda ishtirok etayotgan bo'lsin. Bu yerda: ω – ikkala tebranishning ham o'zaro teng bo'lgan siklik chastotasi; φ_{01} va φ_{02} – mos holda birinchi va ikkinchi tebranishning boshlang'ich fazalari.



23.1-rasm



23.2-rasm

Tebranishlarni qo'shish va natijaviy tebranish qonuniyatini aniqlash uchun vektor diagrammadan foydalanamiz (23.1-rasm). Buning uchun koordinata boshi atrofida o'zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanayotgan va Ox o'qining musbat yo'nalishi bilan mos holda φ_{01} va φ_{02} boshlang'ich burchaklar tashkil qiluvchi $\vec{A}_1$ va $\vec{A}_2$ vektorlarni olish mumkin. $\vec{A}_1$ va $\vec{A}_2$ vektorlar O nuqta atrofida aylanganda vektorlarga qurilgan parallelogramning diagonali ham aylanma harakat qiladi. 23.1-rasmdan ham ko'rinib turibdiki, natijaviy garmonik tebranma harakat tenglamasi ushbu

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

ko'rinishda bo'lishi kerak. Rasmda striklangan uchburchak uchun kosinuslar teoremasini tadbiq etib natijaviy tebranishning amplitudasini aniqlash mumkin.

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})}$$

Natijaviy tebranishning boshlang'ich fazasi esa burchak tangensidan foydalanib aniqlanadi.

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}}$$

Bu yerda: $\varphi_{02} - \varphi_{01}$ – ikkita tebranish orasidagi fazalar farqi bo'lib, uning qiymati vaqt o'tishi bilan o'zgarmasdir.

Agar tebranishlar bir xil fazada qo'shilsa, u holda fazalar farqi $\varphi_{02} - \varphi_{01} = 0, 2\pi, 4\pi, \dots, 2\pi n$ bo'lib, natijaviy amplituda

$$A = A_1 + A_2$$

bo'ladi. Yuqoridagi formulada amplitudasi teng tebranishlar bir xil fazada qo'shilgan hol uchun

$$A = 2A_1$$

deb yozish mumkin.

Agar tebranishlar qarama-qarshi fazada qo'shilsa, u holda fazalar farqi $\varphi_{02} - \varphi_{01} = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots, (2n+1)\pi$ bo'lib, natijaviy amplituda

$$A = A_1 - A_2$$

bo'ladi. Yuqoridagi formulada amplitudasi teng tebranishlar qarama-qarshi fazada qo'shilgan hol uchun

$$A = 0$$

deb yozish mumkin.

O'zaro tik bo'lgan tebranishlarni qo'shish:

Endi moddiy nuqtaning bir vaqtda o'zaro perpendikulyar ikki yo'nalishdagi tebranishda ishtirok etgan holni ko'rib chiqaylik. Bunda quyidagi hollarni qarab o'tamiz:

1) Siklik chastotalari va fazalari bir xil, lekin amplitudalari turlicha bo'lgan ushbu

$$x = A_1 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{va} \quad y = A_2 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

tebranishlar qo'shilganda, moddiy nuqtaning natijaviy harakatning trayektoriya tenglamasi

$$y = \frac{A_2}{A_1} x$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Bu to'g'ri chiziq tenglamasi bo'lib, tebranish koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'yicha bo'ladi (23.2-rasm).

Bunda natijaviy siljish

$$s = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \sin(\omega t + \varphi_0) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

bo'ladi. Bu yerda: $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$ – natijaviy tebranish amplitudasi.

2) Siklik chastotalari bir xil, fazalari $\pi/2$ ga farq qiladigan, amplitudalari turlicha bo'lgan ikkita o'zaro tik tebranishlarni qo'shib ko'raylik. Bunda ularning tenglamalari

$$x = A_1 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{va} \quad y = A_2 \sin(\omega t + \pi/2 + \varphi_0)$$

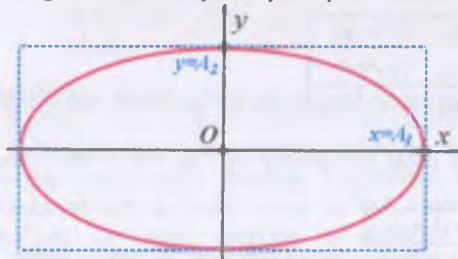
ko'rinishga ega bo'ladi. Yuqoridagi tenglamalarni ushbu

$$\frac{x}{A_1} = \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{va} \quad \frac{y}{A_2} = \cos(\omega t + \varphi_0)$$

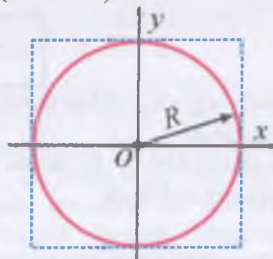
ko'rinishda ham yozib olish mumkin. Tenglamalarni kvadratga oshirib, so'ng bir-biriga qo'shilsa, ushbu

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$$

trayektoriya tenglamasi hosil bo'ladi. Demak, bunday tebranishlarni qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan tebranish trayektoriya ellipsdan iborat bo'lar ekan (23.3-rasm).



23.3-rasm



23.4-rasm

Yuqoridagi ellips tenglamasidan yana bir xususiy holni qarab chiqish mumkin. Agar tebranish amplitudalari teng bo'lsa ($A_1 = A_2 = R$), u holda ellips tenglamasi ushbu

$$x^2 + y^2 = R^2$$

aylana tenglamasiga aylanib qoladi (23.4-rasm). Demak, biz kinematika bo'limida o'tgan aylanma harakatlar ham ikkita tik tebranma harakatning qo'shilishi ekan.

So'nuvchi va majburiy tebranishlar haqida tushuncha:

Agar tebranish jismni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo'yib yuborilgach, ichki kuch va harakatga qarshilik kuchlari ta'siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni **so'nuvchi tebranish** deyiladi. Bunda tebranayotgan jismga sirtning ishqalanish kuchi yoki muhitning qarshilik kuchi ta'sir etib, tebranish amplitudasini asta-sekin so'ndirib boradi. Aytaylik, muhitning qarshilik kuchi tezlikning 1-darajasiga bog'liq ($F_{\text{qr}} = -\alpha v$) bo'lsin. Bunda jism elastiklik kuchi va qarshilik kuchi ta'sirida o'zgaruvchan tezlanishli harakat qiladi. Kuchlar uchun ushbu

$$ma = -kx - \alpha v \quad \text{yoki} \quad ma + kx + \alpha v = 0$$

ifodani yozish mumkin. Tezlik koordinatadan olingan 1-tartibli hosila, Tezlanish esa 2-tartibli hosila ekanini bilgan holda yuqoridagi tenglamani

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = 0$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bu tenglamani har ikkala tomonini massaga bo'lsak, u holda quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

Bu tenglamani yechimi so'nuvchi tebranish tenglamasi bo'ladi. So'nuvchi tebranish grafigi 23.5-rasmda tasvirlangan.



23.5-rasm

Agar tebranish tashqi majburlovchi kuch ta'siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni **majburiy tebranish** deyiladi. Bunda tebranayotgan jismga ichki kuch hamda sirtning ishqalanish kuchi yoki muhitning qarshilik kuchidan tashqari tashqi majburlovchi kuch ham ta'sir etadi. Aytaylik, tashqi majburlovchi kuch ham garmonik qonunga bo'ysungan holda $F = F_0 \sin \omega t$ qonun bo'yicha ta'sir etsin. Bunda jism elastiklik kuchi, qarshilik kuchi va majburlovchi kuch ta'sirida o'zgaruvchan tezlanishli harakat qiladi. Kuchlar uchun ushbu

$$ma = -kx - \alpha v + F_0 \sin \omega t \quad \text{yoki} \quad ma + kx + \alpha v = F_0 \sin \omega t$$

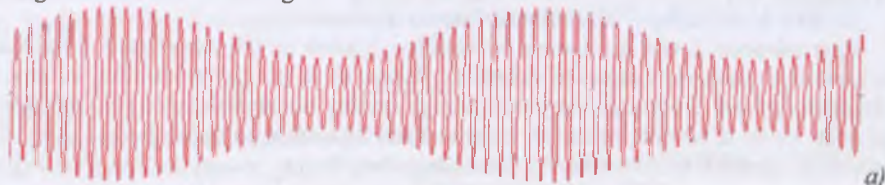
ifodani yozish mumkin. Tezlik koordinatadan olingan 1-tartibli hosila, tezlanish esa 2-tartibli hosila ekanini bilgan holda yuqoridagi tenglamani

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bu tenglamani har ikkala tomonini massaga bo'lsak, u holda quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m} \sin \omega t$$

Bu tenglamani yechimi majburiy tebranish tenglamasi bo'ladi. So'navchi tebranish grafiqi 23.6-rasmda tasvirlangan.



23.6-rasm

Rezonans haqida tushuncha:

Bu hodisa asosan majburuy tebranishlarda kuzatiladi. Tashqi majburlovchi kuchning taebanish chastotasi ichki xususiy tebranish chastotasiga yaqinlashgan sari ularning tebranish ritmlari bir-biriga hamohanglashib boradi. Ular orasidagi farq kamayib borgan sari tebranishning amplituda qiymati kattalashib boradi. Farq butunlay yo'qolib xususiy va tashqi chastotalar o'zaro tenglashganda amplitudaning keskin oshishi kuzatiladi. Bu hodisaga **rezonans** deyiladi.

Ipga osilgan sharchani tebratganda sharchanung xususiy kichik tebranishiga monand ravishda har tebranganda ozgina turtib qo'yilsa, asta-sekin amplituda ortib boradi va kuchayib katta tebranishni yuzaga keltiradi. Bunda taranglik kuchi ortib ketishi ipni uzib yuborish xavfini paydo qiladi. Shunga o'xshash, askarlar ko'riklar ustidan shaxdamqadamlar bilan o'tayotganda, ko'priknig xususiy tebranishi askarlarning qadam tashlash chastotasiga yaqinlashganda tebranma harakat kuchayib, ko'priki buzilish xavfini keltirib chiqaradi. Shuning uchun ko'prikdan askarlar betartib holda o'tkaziladi. Shuning uchun turli konstruksiya va inshootlarni hisoblashda ularning xususiy chastotasini tashqi ta'sir etuvchi kuchlarning chastotalaridan mumkin qadar uzoqroq qilish rejalashtiriladi.

Rezonans hodisasining foydali tomonlari ham bor. Bu hodisadan foydalanib kichik majburlovchi kuch vositasida ham katta amplitudali tebranishlar olish mumkin. Tovush to'liqlarida ro'y beradigan rezonans tufayli zaif tovushlarni, radiotexnikada esa zaif elektr tebranishlarini kuchaytirish mumkin.

- ?
1. O'zaro kogerent va chastotalari teng bo'lgan tebranishlar qanday qo'shiladi?
 2. O'zaro tik va har xil amplitudali tebranishlar qanday qo'shiladi? Bunda trayektoriya qanday shaklda bo'ladi?
 3. O'zaro tik va bir xil amplitudali tebranishlar qanday qo'shiladi? Bunda trayektoriya qanday shaklda bo'ladi?
 4. So'navchi tebranishlar qanday hosil bo'ladi? Uning grafigini tasvirlang.
 5. Majburiy tebranishlar qanday hosil bo'ladi? Uning grafigini tasvirlang.
 6. Rezonans nima? Uning foydali va zararli jihatlarini aytib bering.



§ 24. MEXANIK TO'LQIN HAQIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR

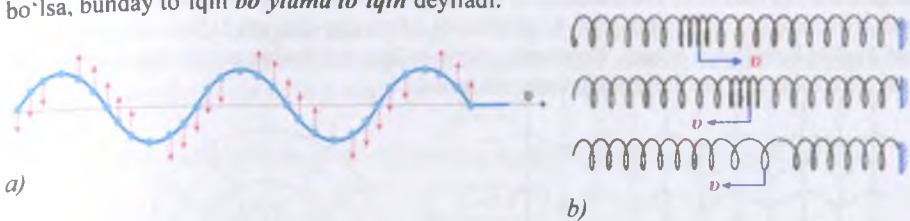
Mexanik to'lqin deb, mexanik tebranishlarning elastik muhitda tarqalish protsessiga aytiladi. Shuni alohida ta'kidlash lozimki, bunda muhit molekularlari ko'chmaydi, balki o'z muvozonati atrofida tebranadi. To'lqinlarning turlari xilma-xil bo'lib, elastik muhitda tarqaluvchi to'lqinlar **mexanik to'lqin**lardir.

Bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar:

To'lqinlar tebranishi va tarqalishi yo'nalishlarining o'zaro munosabatiga qarab ikki turga bo'linadi: bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar.

Agar muhit zarrachalarining tebranish yo'nalishi to'liqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lsa, bunday to'liqin **ko'ndalang to'liqin** deyiladi.

Agar muhit zarrachalarining tebranish yo'nalishi to'liqin tarqalish yo'nalishiga parallel bo'lsa, bunday to'liqin **bo'ylama to'liqin** deyiladi.



24.1-rasm

Ko'ndalang to'liqinlarning hosil bo'lishini elastik shnur yordamida kuzatish mumkin (24.1-a,rasm). Elastik shnur yoki arqonning bir uchini devorga mahkamlab, ikkinchi uchini davriy ravishda tebratib tursak, shnur yoki arqon bo'ylab ko'ndalang to'liqinning tarqalishini ko'ramiz. Bunda garchi to'liqin o'ng tomonga tarqalayotgan bo'lsa-da, muhit zarrachalari vertikal holda o'z muvozonati atrofida tebranma harakat qiladi, xolos. Lekin muhit zarrachalari to'liqin bo'ylab ko'chayotgani yo'q. Muhit zarrachalari tebranishi yo'nalishi to'liqin tarqalishi yo'nalishiga ko'ndalang bo'lgani uchun ham, bunday to'liqinlarni ko'ndalang to'liqin deb ataymiz. Bundan tashqari, suv yuzida tarqaladigan to'liqinlar ham ko'ndalang to'liqinlardir.

Bo'ylama to'liqinlarning hosil bo'lishini yumshoq (bikrligi katta bo'lmagan) prujina yordamida kuzatish mumkin (24.1-b,rasm). Prujinaga uning o'qi bo'ylab zarb berilganda, o'ramlarda zich qatlam hosil bo'lib, bu qatlam prujina o'qi bo'ylab yugurib ketganini ko'ramiz. Ketma-ket zarb berilganda esa, zich va siyrak qatlamlarning ketma-ketligida prujina o'qi bo'ylab to'liqin tarqalganini ko'ramiz. Bunda garchi to'liqin o'ng tomonga tarqalayotgan bo'lsa-da, muhit zarrachalari gorizontal holda o'z muvozonati atrofida tebranma harakat qiladi, xolos. Lekin muhit zarrachalari to'liqin bo'ylab ko'chayotgani yo'q. Muhit zarrachalari tebranishi yo'nalishi to'liqin tarqalishi yo'nalishi bo'yicha bo'lgani uchun ham, bunday to'liqinlarni bo'ylama to'liqin deb ataymiz. Bundan tashqari, barcha turdagi tovush to'liqlari ko'ndalang to'liqinlardir.

To'liqin sirti, fronti va uzunligi:

To'liqinlarning shakli to'liqin sirti, to'liqin fronti bilan xarakterlanadi.

To'liqin sirti deb, bir xil fazada tebranyotgan nuqtalarning geometrik o'rniga aytiladi.

To'liqin manbalarining shakliga qarab to'liqin sirtlari ham har xil ko'rinishga ega bo'ladi. Masalan, yassi to'liqinda to'liqin sirtlar tekisliklardan iborat bo'ladi (24.2-a,rasm).

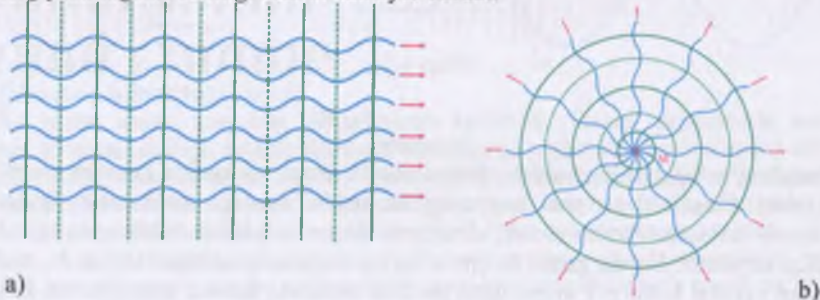
To'liqin sirtiga normal yo'nalishda o'tkazilgan chiziqlarga **nur** deyiladi. Nurning yo'nalishi to'liqinning tarqalish yo'nalishi bilan mos tushadi. To'liqin manbaining energiyasi nur bo'ylab tarqaladi. Yassi to'liqinda nurlar parallel yo'nalgan chiziqlardan iborat bo'ladi (24.2-a,rasm).

Yassi to'liqinlarning tarqalishida to'liqin sirtining o'lchami manbadan uzoqlashgan sari o'zgarmaganligi sababli yassi to'liqinning energiyasi fazoda sochilmaydi, ya'ni yassi to'liqin energiyasining sirt zichligi o'zgarmaydi (ishqalanish bo'lmaganda). Lekin tebranish amplitudasi ishqalanish va qarshilik kuchlarining ta'siri tufayli kamayib boradi.

Agar to'liqin sirti sferadan iborat bo'lsa, bunday to'liqinga **sferik to'liqin** deyiladi (24.2-b,rasm). Bunday to'liqin muhit ichiga joylashgan pulsatsiyalanuvchi sferadan iborat

manbadan hosil bo'ladi. Bu holda to'liqin sirtlar konsentrik sferalardan iborat bo'lib, nurlar esa sfera radiuslarining davomi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

Sferik to'liqinlar to'liqinlar tarqalishida muhit zarrachalarining tebranish amplitudalari ishqalanish va qarshilik kuchlarining ta'siri tufayli kamayib boradi. Sferik to'liqin manba energiyasi sfera sirti bo'ylab tekis taqsimlanadi, sferaning sirti esa to'liqin tarqalib borgan sari keskin kattalashib boradi. Binobarin, sferik to'liqin manbadan uzoqlashgan sari to'liqin energiyasining sirt zichligi keskin kamayib boradi.



24.2-rasm

To'liqinning eng oldingi, ya'ni to'liqin manбайдan eng uzoqda joylashgan sirti *to'liqin fronti* deyiladi. Boshqacha aytganda to'liqin g'alayoni etib kelgan va endigini muhit zarachalar tebranishi boshlanayotgan sirt *to'liqin fronti* deyiladi. Demak, to'liqin fronti to'liqin egallagan va to'liqin mavjud bo'lmagan muhit qismini ajratib turuvchi sirt dan iborat ekan.

Barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil xususiyatlarga ega bo'lgan muhitda, ya'ni izotrop muhitda to'liqinning fronti o'zgarmas tezlik bilan siljiydi. Shuning uchun, to'liqin tarqalayotganda har bir muhit zarrachalarining tebranish davri T va chastotasi ν to'liqin manbaining tebranish davri va chastotasiga teng bo'ladi.

Muhitning xususiyatiga va tebranish chastotasiga bog'liq ravishda to'liqin sirtining, ya'ni to'liqin fazasining bir davr ichidagi siljishini xarakterlovchi kattalikka *to'liqin uzunligi* deb ataladi.

Takroriy davrlar vaqtiga mos kelgan to'liqin nuridagi nuqtalar bir xil fazalarda tebranadi, binobarin, to'liqin uzunligini umumiy ko'rinishda quyidagicha ta'riflash mumkin:

To'liqin uzunligi deb, bitta nurda yotgan va bir xil fazada tebranayotgan qo'shni nuqtalar orasidagi masofaga aytiladi.

Ko'ndalang to'liqinda to'liqinning uzunligi λ ikki qo'shni do'nglik yoki ikki qo'shni chuqurlik orasidagi masofaga teng bo'ladi. Bo'ylama to'liqinda esa to'liqin uzunligi ikki qo'shni zich qatlam yoki ikki qo'shni siyrak qatlam markazlari orasidagi masofaga teng bo'ladi.

Bir-biridan Δx masofada tarqalayotgan ikkita nuqtalarning tebranish fazalari farqi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}$$

To'liqinlarning tarqalish tezligi:

Izotrop muhitda tovushning tarqalish tezligi o'zgarmas bo'lib, faqat muhit xususiyati va holatiga bog'liqdir. Shuning uchun, to'lqinning tarqalish masofasi s , to'g'ri chiziqli tekis harakatda yo'l formulasidan aniqlanadi.

$$s = g t$$

Bunda, g – to'lqinning tarqalish tezligi, t – to'lqinning tarqalish vaqti.

Agar yuqoridagi formulada to'lqinning tarqalish vaqti t uning davri T ga teng bo'lsa, tarqalish masofasi s esa to'lqin uzunligi λ ga teng bo'lib qoladi.

$$\lambda = g T$$

$T = \frac{1}{\nu}$ ekanligini hisobga olsak, to'lqinning tarqalish tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$g = \lambda \nu$$

To'lqin tarqalish tezligi to'lqin uzunligi va chastotaning ko'paytmasiga teng bo'lar ekan.



1. Mexanik to'lqin deb nimaga aytiladi? To'lqin fronti nima?
2. Yassi to'lqin va sferik to'lqin tushunchalariga ta'rif keltiring.
3. Ko'ndalang to'lqin va bo'ylama to'lqin tushunchalariga ta'rif keltiring?
4. To'lqin tezligi formulasini yozing.



§ 25. MEXANIK TO'LQINLAR INTERFERENSIYASI VA DIFRAKSIYASI

To'lqinlar interferensiyasi:

Agar ikki to'lqinning tebranish chastotasi bir xil bo'lib, tebranishlar fazalari orasidagi farq vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bunday to'lqinlar **o'zaro kogerent to'lqinlar** deyiladi. Bunday to'lqinlarni vujudga keltiruvchi manbalar **o'zaro kogerent manbalar** deyiladi. Masalan, o'zaro kogerent manbani bir xil balandlikdan ikkita bir xil toshni suvga tashlash orqali hosil qilish mumkin.

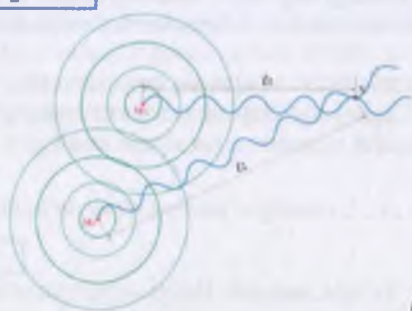
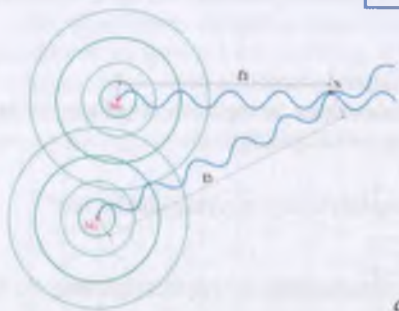
O'zaro kogerent manbalardan kelayotgan to'lqinlar fazoning biror nuqtasida qo'shilish natijasida to'lqin kuchayishi (mavjlanish, g'alayonlanish) yoki to'lqin susayishi (sokinlanish) kuzatilishi mumkin. Bunday hodisaga **to'lqin interferensiyasi** deyiladi.

Agar to'lqinlar bir xil fazada qo'shilsa, to'lqinlar bir-birini kuchaytiradi (mavjlanadi) va bunda maksimumlar sharti kuzatiladi. Agar to'lqinlar qarama-qarshi fazada qo'shilsa, to'lqinlar bir-birini susaytiradi (sokinlanadi) va bunda minimumlar sharti kuzatiladi. Boshqacha aytganda, to'lqinlarning o'rkachlari qo'shilgan joyda g'alayonlanish kuchayadi, bitta to'lqinning o'rkachi bilan ikkinchi to'lqinning cho'nqiri uchrashgan joyda esa g'alayonlanish eng kuchsiz bo'lib sokinlik kuzatiladi.

O'zaro kogerent manbalardan birinchisi M_1 , ikkinchisi M_2 bo'lib, bu to'lqinlar uchrashgan nuqta N bo'lsin. Uchrashguncha har bir to'lqin bosib o'tgan yo'l $\ell_1 = M_1 N$ va $\ell_2 = M_2 N$, bu to'lqinlar uchrashguncha o'tgan yo'llar orasidagi farq $\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1 = M_2 N - M_1 N$ bo'lsin (25.1-a, b, rasm).

Agar ikkinchi to'lqin birinchi to'lqindan yarim to'lqin uzunligining juft soni qadar (yoki butun sondagi to'lqin qadar) kechikib kelsa, bu to'lqinlar bir xil fazada qo'shiladi ($\Delta \varphi = 0$), qo'shilish nuqtasida ular bir-birini kuchaytirib mavjlanish sodir bo'ladi. N nuqtada maksimum sharti bajariladi, natijaviy amplituda $A = A_1 + A_2$ bo'ladi. Maksimumlar sharti quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta \ell = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} = k \lambda$$



a)

b)

25.1-rasm

Agar ikkinchi to'liqin birinchi to'liqindan yarim to'liqin uzunligining toq soni qadar kechikib kelsa, bu to'liqinlar qarama-qarshi fazada qo'shiladi ($\Delta \varphi = \pi$), qo'shilish nuqtasida ular bir-birini susaytirib sokinlanish sodir bo'ladi. N nuqtada minimum sharti bajariladi, natijaviy amplituda $A = |A_1 - A_2|$ bo'ladi. Minimumlar sharti quyidagicha bo'ladi:

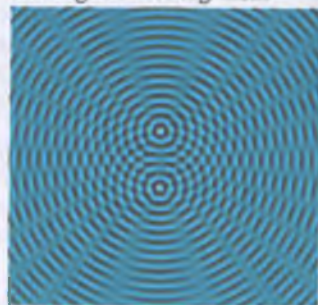
$$\Delta \ell = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Suv yuzida ikkita nuqtaviy manbadan hosil qilingan interferensiyalar manzaraning sxematik tasviri 25.1-rasmda, haqiqiy tasviri esa 25.2-rasmda ko'rsatilgan.

To'liqinlar qo'shilib interferensiyalashganda energiyani saqlanish qonuni bajariladimi degan savol tug'ilishi tabiiy. Chunki, maksimum sharti bajarilganda tebranish amplitudasi ortib ketgani bois, mexanik energiya ham ortadi, yoki minimum sharti bajarilganda esa tebranish umuman kuzatilmagani bois, mexanik energiya nolga aylanadi. Xuddi, maksimum sharti bajarilganda energiya yo'qdan bor bo'layotgandek va minimum sharti bajarilganda esa energiya bordan yo'q bo'layotgandek tuyuladi. Lekin unday emas. Mexanik energiya minimum sharti bajarilgan nuqtadan maksimum sharti bajarilgan nuqtaga uzatilmoqda, ya'ni energiya fazoda qayta taqsimlanmoqda. Bunda ham barcha tabiat hodisalaridagi kabi energiyani saqlanish qonuni to'la bajariladi.

Agar kogerent to'liqinlar N nuqtaga etib kelganda na bir xil fazada, na qarama-qarshi fazada qo'shilsa, boshqacha aytganda fazalar farqi oraliq qiymatlarga ega bo'lsa ($0 < \Delta \varphi < \pi$), interferensiyalar manzara qanday ko'rinishda bo'ladi degan savol tug'ilishi

tabiiy. Bunda interferensiyalar manzara sokinlik va to'la mavjlanish oraliq'ida bo'ladi, ya'ni tebranish amplitudasi $|A_1 - A_2| < A < A_1 + A_2$ oraliqda bo'ladi. Agar to'liqinlar o'zaro kogerent bo'lmasa, bunda interferensiyalar manzara qanday ko'rinishda bo'ladi degan savol tug'ilishi ham tabiiy. Bunda tebranishlar fazalari orasidagi farq vaqt o'tishi bilan o'zgarib turgani bois, kuzatilayotgan nuqtadagi interferensiyalar manzara ham vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi. Kuzatilayotgan nuqtada goh maksimumlik sharti, goh oraliq qiymatlar va goh minimumlik sharti kuzatilib turadi.

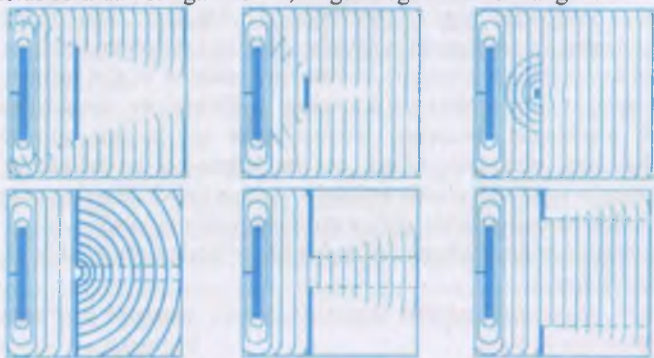


25.2-rasm

To'liqinlar difraksiyasi:

To'liqin o'z yo'lida katta yoki kichik to'siq va tirqishlarga duch keladi. Bunda to'liqin dastlabki yo'nalishidan og'ish xususiyatiga ega.

To'liqinlar tarqalishida to'siq va tirqishlarga duch kelganda dastlabki tarqalish yo'nalishidan geometrik soya tomonga og'ish hodisasiga **difraksiya** deyiladi. Bu termin lotincha diffractus so'zidan olingan bo'lib, singan degan ma'noni anglatadi.

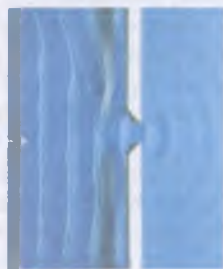


25.3-rasm

Difraksiya hodisasiga hayotda juda ko'p duch kelganmiz. Masalan, dengiz to'liqlari suvdan chiqib turgan toshdan bemalol aylanib o'tadi va aylanib o'tgach go'yoki hech narsa bo'lmagandek tarqalaveradi. Xuddi shuningdek, hovuzga tashlangan toshdan yuzaga kelgan to'liqin ham suvdan chiqib turgan cho'pdan bemalol aylanib o'tib ketaveradi.

To'liqin o'zining dastlabki yo'nalishidan og'ishida to'siq va tirqishning o'lchami katta ahamiyatga ega. Agar to'siq va tirqishning o'lchamlari to'liqin uzunligidan etarlicha katta bo'lsa, to'liqin dastlabki yo'nalishidan geometrik soya sohaga uncha og'masdan dastlabki yo'nalishida tarqalaveradi. Bunda ekran ortidagi manzara umuman o'zgarmaydi. Faqatgina to'liqlarning chetlarida birozgina egrilanish kuzatiladi, xolos (25.3-rasm).

To'siq va tirqishning o'lchami kichiklashib borgan sari ekran ortiga o'tgan to'liqin egrilanib boradi. Agar to'siq va tirqishning o'lchamlari to'liqin uzunligi bilan solishtirarli darajada (to'liqin uzunligidan biroz katta yoki teng yoki biroz kichik) bo'lsa, to'liqin dastlabki yo'nalishidan geometrik soya soha tomonga og'ishi sezilarli kuzatiladi (25.3-rasm). Juda kichkina tirqishlar esa ikkilamchi manbaga aylanadi (25.3-rasm).



25.4-rasm

Suv yuzida kichkina tirqishdan hosil bo'ladigan dispersiya manzarasining sxematik tasviri 25.3 g-rasmda, haqiqiy tasviri esa 25.4-rasmda tasvirlangan.



1. Mexanik to'liqlar interferensiyasi deb nimaga aytiladi?
2. Maksimumlar shartini yozing. Bunda nima hodisa ro'y beradi?
3. Minimumlar shartini yozing. Bunda nima hodisa ro'y beradi?
4. Mexanik to'liqlarda difraksiya hodisasi nima?
5. Difraksiya hodisasi kuzatilishi uchun qanday shartlar bajarilishi kerak?



§ 26. AKUSTIKA ELEMENTLARI

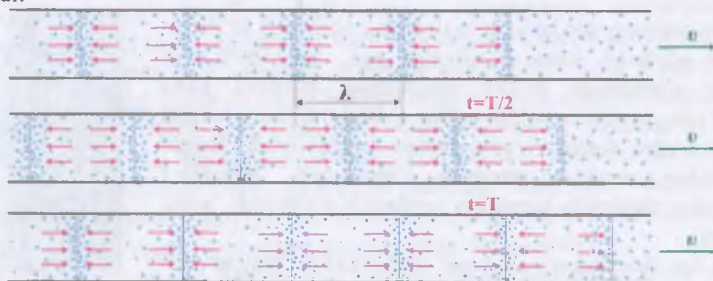
Olam turli-tuman tovushlarga to'la bo'lib, soatning chiqillashi va motorlarning guvillashi, barglarning shildirashi va shamolning uvillashi, qushlar navosi va odamlar ovozi va hokozalar shular jumlasidandir. Tovush nima va u qanday yuzaga keladi? Bu haqida odamlar qadimdan o'ylay boshlaganlar. Masalan, ular tovushilar havoda titrayotgan jismlardan chiqayotganini sezganlar. Qadimgi yunon faylasufi va ensiklopedist olimi Aristotel kuzatishlarga asoslanib, tovushning tabiatini to'g'ri tushuntirib bergan: u tovush chiqarayotgan jism galma-gal havoning siqilishini va siyraklashishini vujudga keltiradi, deb hisoblagan. Masalan, tebranayotgan tor havoni goh zichlaydi, goh siyraklaydi, havoning elastikligi tufayli esa bu ketma-ket bo'ladigan ta'sirlar fazoda qatlamdan-qatlamga uzatiladi, elastik to'liqlar yuzaga keladi. Bizning qulog'imizga etib kelgach, ular kulon pardasiga ta'sir qilib, tovush sezgisini uyg'otadi.

Tovush hodisalari o'rganiladigan fizikaning bir bo'limiga *akustika* deyiladi.

Tovush to'liqlari:

Tovush deb, insonning eshitish organida tovush sezgisini uyg'otuvchi bo'ylama mexanik to'liqlarga aytiladi.

Havoda tovush to'liqlari havo qatlamining goh zichlashib, goh siyraklashishi, ya'ni havo bosimining davriy ravishda tebranishi elastik bo'ylama to'liq ko'rinishida tarqaladi (26.1-rasm). Havo zarrachalarining tebranish yo'nalishi tovushning tarqalish yo'nalishi bo'yicha bo'lgani uchun ham tovush to'liqlari bo'ylama to'liqlardir. Ikki qo'shni zich qatlam yoki ikki qo'shni siyrak qatlam orasidagi masofa tovush to'liqini uzunligi hisoblanadi.



26.1-rasm

Shuni ta'kidlash kerakki, tovush manbai bilan eshitish organi orasida tovush to'liqlarini tarqata oladigan elastik muhit mavjud bo'lgandagina, tovush eshitiladi. Tovush to'liqining elastik muhitda tarqalishini havo nasosining shisha qalpog'i ostiga qo'yilgan elektr qo'ng'irog'i yordamida isbotlash mumkin. Shisha qalpoq ostidagi havoning bosimi kamayib, ya'ni havo siyraklashib borgan sari, tovushning eshitilishi ham pasayib boradi va nihoyat vakuum hosil bo'lganda eshitilmay qoladi.

Tekshirishlardan ma'lum bo'ldiki, tebranish chastotalari 20 Gs dan 20 000 Gs gacha bo'lgan bo'ylama mexanik to'liqlargina insonning eshitish organida tovush sezgisini uyg'otar ekan. Bu chastota intervaliga *eshitish diapazoni* deyiladi.

Shunday qilib, quyidagi beshta shart bajarilgandagina inson tovushni eshitadi:

- 1) tovush manbai mavjud bo'lishi;
- 2) tovush manbai va eshitish organi orasida elastik muhitning bo'lishi;
- 3) tovush manbaining tebranish chastotasi 20 – 20 000 Gs oralig'ida yotishi;

4) tovush to'liqlarining quvvati eshitish organida tovush sezgisini hosil qilishga yetarli bo'lishi;

5) eshitish organi (quloq) sog'lom bo'lishi kerak.

Ultratovush va infratovushlar:

Tebranish chastotalari 20 000 Gs dan katta bo'lgan mexanik tebranishlarni inson qulog'i tovush sifatida qabul qilmaydi. Ularga **ultratovush tebranishlari** yoki **ultratovushlar** deyiladi. Ultratovush chastotalarining yuqorigi chegaralari shartli ravishda 10^8 Gs deb qabul qilingan.

Ultratovushni hosil qilish va qabul qilish uchun ultratovush nurlatkich va priyomnik deb ataluvchi asboblari ishlatiladi.

Ultratovush to'liqlarining tarqalish tezligi va yutilishining muhit holatiga bog'lanishidan moddalar molekulyar xossalari o'rganishda foydalaniladi. Bu tekshirishlar molekulyar akustika deb ataluvchi sohada o'rganiladi.

Ultratovush to'liqlarining ikki muhit chegarasidan qaytishi xossalari asoslangan prinsipga binoan suv havzalarining chuqurligini, ular tubining reliefini, aysberglarni, baliq to'dalarini, suv osti kemalar va hokozolarni o'rganishda **exolot** deb ataluvchi gidrolokatorlardan foydalaniladi.

Delfin va ko'rshapalaklar juda ham takomillashgan xususiy ultratovush lokatorlariga egadir. Ko'rshapalak ultratovush tebranishlari impulsining chastotasi 25 000 – 30 000 Gs ni, davomiyligi esa 0.015 s ni tashkil qiladi.

Ultratovush defektoskoplar yordamida metall buyumlarining nuqsonlari, darz ketgan joylarni aniqlash, jismlarning haqiqiy chiziqli o'lchamlarini aniqlash mumkin.

Ultratovush biologik va fiziologik ta'sirga ega. Masalan ba'zi o'simliklarning (paxta, no'xat, kartoshka va h.) urug'lariga ultratovush ta'sir ettirilganda ular tez unadi va hosildorligi ortadi. Bu tovush ta'sirida sut tez achib qolmaydi, qizil qon tanachalari emiriladi, itbaliq va mayda baliqchalar bir minut davomida o'ladi. Ultratovush yordamida mikroorganizm va bakteriyalar o'ladi va ulardan sterilizatsiyada foydalanish imkonini beradi.

Ultratovush meditsinada keng qo'llaniladi. Ona xomilasini ultratovush yordamida ekranda ko'rish mumkin, bu usul rentgenoskopiyadan ko'ra zararsiz. Undan tashqari inson ichki organlari masalan, jigar, buyrak, prostata bezlarida shamollash bor yoki yo'qligini ultratovush yordamida (UZI) aniqlash mumkin. Operatsiya vaqtida yumshoq to'qimlarni ultratovush yordamida kesish va shikastlangan suyak to'qimalarini payvandlash imkonini beradi.

Tebranish chastotasi 20 Gs dan kichik bo'lgan mexanik to'liqlarga infratovush to'liqlari yoki infratovush deyiladi. Ular insonda tovush sezgisini uyg'otmaydi. Infratovush to'liqlar dovu va zilzilalar vaqtida, dengiz va Yer qobig'ida hosil bo'ladi. Infratovushning tarqalish tezligi dovu yoki zilzila vaqtida bo'ladigan gigant to'liqlar to'dasining tarqalish tezligidan ancha katta bo'ladi. Bu hol infratovush to'liqlarini qabul qila oladigan ba'zi hayvonlarning yaqinlashayotgan xavf haqidagi signallarni qabul qilish imkoniyatini beradi.

Barcha tovush to'liqlari chastota va to'liq uzunligi diapozoni quyidagi jadvalda berilgan. Bunda tovushning havodagi tarqalish tezligi 340 m/s deb olingan.

	Infratovush	Eshitiladigan tovush	Ultratovush
v [Gs]	20 Gs. dan kichik	20 – 20 000	20 000 Gs. dan katta
λ [m]	17 m. dan katta	17 – 0,017	0,017 m. dan kichik

Tovushning tarqalish tezligi:

Tovush to'liqlinlari ham boshqa barcha to'liqlinlar singari moddada cheklangan tezlik bilan tarqaladi. Uning tarqalish tezligi to'g'ri chiziqli tekis harakatning yo'l formulasidan aniqlanadi.

$$g = \frac{s}{t}$$

Tovushning tarqalish tezligini aniqlash usulini qarab chiqaylik. Yorug'lik juda katta tezlik $c = 300\,000\text{ km/s}$ tezlik bilan tarqaladi. Shu sababli, miltiqdan o'q otilganda, eng avval olov va tutun ko'rinadi va biror vaqtdan keyin tovush eshitiladi. Shunday qilib, yorug'lik signalining yetib kelish vati juda kichik bo'lganligi uchun, uni e'tiborga olmaymiz.

Havoda tovush tezligini aniqlashda, bir-biridan ma'lum masofada (5 – 10 km) turgan ikki kishidan biri to'pponchadan yuqoriga mushak otadi, ikkinchisi esa mushak yorug'ligini ko'rish bilan sekundomerni yuritib yuboradi va tovushni eshitganda uni to'xtatadi. Bunda s masofani va tovushning etib kelish vaqti t ni bilgan holda tovushning havodagi tezligi aniqlanadi.

0°C temperaturada tovushning quruq havodagi tarqalish tezligi $g_0 = 332\text{ m/s}$ ekan. Uy temperaturasi va o'rtacha namlikda esa tovush tezligi $g = 340\text{ m/s}$ ekanligi aniqlangan.

Tovushning gazlarda tarqalish tezligi gazning zichligiga bog'liq bo'lmasdan absayut temperatura T ning kvadrat ildiziga proporsional bo'lib, gazning molyar massasi M ning kvadrat ildiziga teskari proporsionaldir. Masalan, 0°C temperaturada tovushning tarqalish tezligi kislorodda 315 m/s , vodorodda 1263 m/s va karbonat angidridda 258 m/s ga teng ekanligi aniqlangan.

Tovushning gazlardagi tarqalish tezligi uchun quyidagi formuladan foydalanish mumkin.

$$g = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Bu yerda: $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ — Puasson koeffitsienti bo'lib, bir atomli gazlar uchun $\gamma = \frac{5}{3}$, ikki atomli gazlar uchun $\gamma = \frac{7}{5}$ va uch (ko'p) atomli gazlar uchun $\gamma = \frac{4}{3}$ deb olinadi.

Tovushning tarqalish tezligi moddaning agregat holatiga bog'liqdir. Masalan, tovush suvda 1480 m/s tezlik bilan, shishada 5600 m/s tezlik bilan va po'latda esa 5000 m/s tezlik bilan tarqaladi.

Tovushning metallarda tarqalish tezligi quyidagi formuladan topiladi.

$$g = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Bu yerda: E — bo'ylama deformatsiyadagi elastiklik moduli (yoki Yung moduli).
 ρ — metallning zichligi.

Tovushning intensivligi va qattiqligi:

Tovushning tarqalish yo'nalishiga tik joylashgan birlik yuzadan birlik vaqt ichida o'tuvchi tovush energiyasiga miqdor jihatidan teng bo'lgan kattalikka **tovush intensivligi** deyiladi. Boshqacha aytganda tovush intensivligi tovush yo'nalishiga tik joylashgan birlik yuzadan o'tuvchi tovush quvvatiga teng bo'lgan kattalikdir.

$$I = \frac{W}{St} = \frac{N}{S} \left[\frac{V_t}{m^2} \right]$$

Quloqqa elas-elas eshitiladigan (uzoqdagi daraxtning shitirlashi) tovushning intensivligi ($I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$) eshitish bo'sag'asidagi intensivlikka ega bo'lgan tovush deyiladi.

Quloqda og'riq hosil qiluvchi (reaktiv samolyotning shovqini) tovushning intensivligini ($I_{\text{max}} = 1 \frac{W}{m^2}$) eshitish bo'sag'asidagi intensivlikka ega bo'lgan tovush deyiladi.

Tovush intensivligi, tovush eshituvchi tomonidan seziladimi yoki yo'qmi, bundan qat'iy nazar fizik protsessni ob'ektiv xarakterlaydi. Lekin, sub'ektiv xarakterga ega bo'lgan shunday kattalik borki, bu tovush qattiqligidir. Tovush qattiqligi sub'ektiv xarakterga ega deyilishiga sabab, ushbu kattalik eshitish organing fiziologik xususiyatlaridan kelib chiqib kiritilgan. Ayni bir tovush kim uchundir qattiqroq tuyulsa, yana kim uchundir yumshoqroq tuyulishi mumkin. Qattqlik shkalasini tanlashda logarifmik qonunni hisobga olamiz va eshitilish chegarasida qattqlikni nolga teng (garchi intensivlik noldan farqli bo'lsa-da) deb shartlashamiz.

Agar tovushning intensivligi $I = I_0$ bo'lsa, bu tovushning qattqligi $L = 0 \text{ B (Bell)}$ ga tengdir.

Agar tovushning intensivligi $I = 10I_0$ bo'lsa, bu tovushning qattqligi $L = 1 \text{ B}$ ga tengdir.

Agar tovushning intensivligi $I = 100I_0$ bo'lsa, bu tovushning qattqligi $L = 2 \text{ B}$ ga tengdir.

Agar tovushning intensivligi $I = I_{\text{max}} = 10^{12} I_0$ bo'lsa, bu tovushning qattqligi $L = 12 \text{ B}$ ga tengdir.

Tovush qattqligi quyidagi formula orqali topiladi:

$$L = \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) [B]$$

Tovush qattqligi detsibellarda quyidagicha ifodalanadi:

$$L = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) [dB]$$

Sekin suxbatlashayotgan ikki kishining shovqinining qattqligi 40 dB , bozor shovqinining qattqligi 80 dB , yuk mashinasi motorini shovqinining qattqligi 90 dB , reaktiv samolyot motorini shovqinining qattqligi 130 dB va undan yuqori bo'ladi.

Qattqliklari $L_1, L_2, L_3, \dots, L_N$ bo'lgan va bitta joyda jamlangan tovush manbalari shovqinlari qo'shilishidan hosil bo'lgan natijaviy shovqinning qattqligi quyidagicha bo'ladi:

$$L = \lg(10^{L_1} + 10^{L_2} + 10^{L_3} + \dots + 10^{L_N})$$

yoki

$$L = 10 \lg(e^{L_1/10} + e^{L_2/10} + e^{L_3/10} + \dots + e^{L_N/10})$$

Isboti: Qattqliklari $L_1 = \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right), L_2 = \lg \left(\frac{I_2}{I_0} \right), L_3 = \lg \left(\frac{I_3}{I_0} \right), \dots, L_N = \lg \left(\frac{I_N}{I_0} \right)$ bo'lgan tovushlarning

intensivliklari mos holda $I_1 = I_0 \cdot 10^{L_1}, I_2 = I_0 \cdot 10^{L_2}, I_3 = I_0 \cdot 10^{L_3}, \dots, I_N = I_0 \cdot 10^{L_N}$ ga teng. Energiya skalyar kattalik bo'lgani uchun natijaviy intensivlik

$I_{nat} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N = I_1 = I_0 \cdot (10^{L_1} + 10^{L_2} + 10^{L_3} + \dots + 10^{L_N})$ bo'ladi. Shovqinlar yig'indisining natijaviy qattiqligi esa $L_{nat} = \lg\left(\frac{I_{nat}}{I_0}\right) = \lg(10^{L_1} + 10^{L_2} + 10^{L_3} + \dots + 10^{L_N})$ bo'ladi.

Har birining qattiqligi L bo'lgan va bir joyga jamlangan tovush manbalari shovqinlarining qo'shilishidan hosil bo'lgan natijaviy qattiqlik quyidagicha:

$$L = \lg N + L$$

[B]

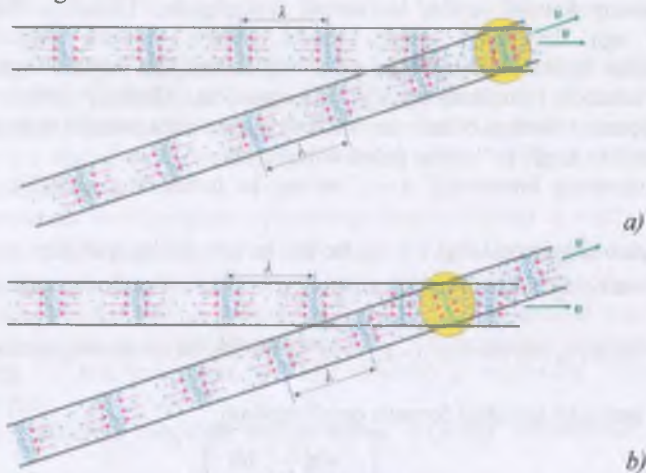
yoki

$$L = 10 \cdot (\lg N + L)$$

[dB]

Tovush to'liqlarida interferensiya va difraksiya hodisalari:

Interferensiya hodisasi tabiatdagi barcha to'liqlarga xos bo'lib, shu jumladan tovush to'liqlariga ham tegishlidir.



26.2-rasm

Tovush to'liqlarida maksimumlar sharti bajarilishi uchun o'zaro kogerent tovush to'liqlari bir xil fazada qo'shilishi kerak, ya'ni ikkita zich qatlam yoki ikkita siyrak qatlam uchrashishi kerak. Ana shunda uchrashish nuqtasida shovqinlanish kuzatiladi (26.2-a,rasm). Maksimumlar sharti bajarilgan nuqtalarda tovush intensivroq bo'lib, odatdagidan jarangdorroq eshitiladi.

Tovush to'liqlarida minimumlar sharti bajarilishi uchun o'zaro kogerent tovush to'liqlari qarama-qarshi fazada qo'shilishi kerak, ya'ni zich va siyrak qatlam uchrashishi kerak. Ana shunda uchrashish nuqtasida sukunat kuzatiladi (26.2-b,rasm). Minimumlar sharti bajarilgan nuqtalarda tovush intensivligi past bo'lib, juda sust eshitiladi yoki umuman eshitilmaydi.

Difraksiya hodisasi ham tabiatdagi barcha to'liqlarga xos bo'lib, shu jumladan tovush to'liqlariga ham tegishlidir. Odatda biz $\lambda = 17\text{ mm} - 17\text{ m}$ oralig'idagi tebranishlarni tovush sifatida qabul qilamiz. Tovush to'liqini ana shu to'liqin uzunliklar bilan solishtirarli o'lchamdagi (to'liqin uzunligidan biroz katta yoki teng yoki biroz kichik) to'siq va tirqishlarga duch kelganda tovushning geometrik soya tomonga og'ishi kuzatiladi. Bu hodisaga har birimiz juda ko'p duch kelganmiz. Masalan, baland devorning orqa tomonidagi odamga baqirganda garchi o'zi ko'rimasada tovushimizni eshitadi, yo'lakda turgan odamning gapirishi geometrik soya tomonda turgan butun sohaga

eshitiladi, to'yxonadagi karnay-surnay ovozini to'yxona ko'rinmaydigan joydan ham turib eshitish mumkin va hokoza.

- ❓
1. Tovush deb nimaga aytiladi? Tovush chastota va to'lqin uzunligi qaysi oraliqda bo'ladi?
 2. Inftratovush va ultratovushlar qanday tovushlar haqida gapiring. Ularning chastota va to'lqin uzunligi qaysi oraliqda bo'ladi?
 3. Gazlarda va qattiq jismlarda tovush tarqalish tezligini aniqlash formulalarini yozib bering.
 4. Tovush to'lqinlari interferensiyaga kirishganda nima hodisa ro'y beradi?
 5. Tovush to'lqinlaridagi difraksiya nima? Difraksiya bo'lishi uchun qanday shart bajarilishi kerak?
 6. Tovush intensivligi nima? Uning formulasini yozing.
 7. Tovush qattiqligi nima? Qattiqlikning o'lcham birligi nima? Eshitish va og'riq hosil qilish bo'sag'alari haqida aytib bering.

V BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Agar moddiy nuqta tebranishlari amplitudasi 4sm bo'lsa, uning bir to'la tebranish davomida bosib o'tgan yo'li qanday (sm) bo'ladi?

A) 0 B) 4 C) 8 D) 16

Berilgan:

$$x_0 = 4 \text{ sm}$$

S = ?

Yechilishi:

Davriy tebranayotgan jism bir marta to'la tebranganda muvozanat vaziyatidan ikki marta o'tadi. Demak u bir tebranishda $s = 4x_0$ masofa bosib o'tadi.

$$S = 4x_0 = 4 \cdot 4 \text{ sm} = 16 \text{ sm}.$$

Javob: D) 16.

2. Garmonik tebranayotgan jism T davrning qanday qismida muvozanat vaziyatidan chetki vaziyatgacha bo'lgan yo'lni bosib o'tadi?

A) T/4 B) T/2 C) T D) 2T/3

Berilgan:

T

$$x = x_0$$

t = ?

Yechilishi:

$t = 0$ da muvozanat vaziyatida bo'lgan garmonik tebranayotgan jism harakat tenglamasi:

$$x = x_0 \sin \omega t.$$

Demak, $x_0 = x_0 \sin \omega t$. $\sin \omega t = 1$ ekan.

Bizgama lumki

$$\sin \frac{\pi}{2} = 1. \quad \omega t = \frac{\pi}{2}.$$

Siklik chastotaning davrga boglanish formulasi $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ni yuqoridagi formulaga qo'yamiz.

$$\frac{2\pi}{T} t = \frac{\pi}{2}, \quad t = \frac{\pi T}{2 \cdot 2\pi} = \frac{T}{4}$$

Javob: A) T/4.

3. Mayatnik 1 minutda 120 marta tebranadi. Tebranishlar chastotasini aniqlang (Hz).

A) 1,6 B) 2 C) 3 D) 6

Berilgan:

$$t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$N = 120$$

v = ?

Yechilishi:

$$v = \frac{N}{t}$$

formuladan foydalanamiz:

$$v = \frac{N}{t} = \frac{120}{60} = 2 \text{ Hz}$$

Javob: B) 2.

4. k bikrlikli prujinada A amplitude bilan tebranayotgan m massali yuk muvozanat vaziyatini qanday tezlik bilan o'tadi?

- A) $A \frac{k}{m}$ B) $A \sqrt{\frac{k}{m}}$ C) $\sqrt{A \frac{k}{m}}$ D) $A \sqrt{mk}$

Berilgan:

$$\begin{array}{l} k \\ x_0 = A \\ m \\ \hline v_{\max} = ? \end{array}$$

Yechilishi:

Garmonik tebranayotgan prujinaning energiyasi uchun quyidagi ifoda o'rinni

$$W_{p\max} = W_{k\max}$$

$$W_{k\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

$$W_{p\max} = \frac{kx_0^2}{2}$$

Bu ifodalarga asosan quyidagi ifodaga ega bo'lamiz?

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{kx_0^2}{2}$$

Bu ifodadan tezlikni topamiz:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{kx_0^2}{m}} = x_0 \sqrt{\frac{k}{m}} = A \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Javob: B) $A \sqrt{\frac{k}{m}}$

5. Moddiy nuqtaning tebranish qonuni $x = 0,03 \sin \frac{2\pi t}{T}$ ko'rinishda berilgan. Uning $t = 3T/4$ paytdagi siljishi modulini toping (m).

- A) 0,05 B) 0,04 C) 0,03 D) 0,02

Berilgan:

$$\begin{array}{l} x = 0,03 \sin \frac{2\pi t}{T} \\ t = \frac{3T}{4} \\ \hline |x| = ? \end{array}$$

Yechilishi:

Berilgan garmonik tenglamada vaqtning o'rniga berilgan qiymatini qo'yamiz:

$$|x| = 0,03 \sin \frac{2\pi t}{T} = 0,03 \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{3T}{4} = |-0,03| = 0,03 \text{ m}$$

Javob: C)

6. Bikrligi 400 N/m bo'lgan prujinaga osilgan 1 kg massali yuk 12 sm amplitude bilan tebranmoqda. Shu tebranishning matematik qonunini ko'rsating.

- A) $x = 0,4 \cos 120t$ B) $x = 0,4 \cos 12t$
C) $x = 0,12 \cos 20t$ D) $x = 0,12 \cos 40t$

Berilgan:

$$\begin{array}{l} k = 400 \text{ N/m} \\ m = 1 \text{ kg} \\ x_m = 12 \text{ sm} = 0,12 \text{ m} \\ \hline x = ? \end{array}$$

Yechilishi:

Berilgan kattaliklarni garmonik harakat tenglamasiga qo'yamiz

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Siklik chastatani prujinaning tebranish davriga bog'lanish formulasidan topib olamiz.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}} = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{400}{1}} = 20 \text{ rad/s}$$

O'rniga qo'ysak quyidagini olamiz:

$$x = 0,12 \cos 20t.$$

Javob: C)

7. Qanday fazalarda siljish modul bo'yicha amplitudaning $\frac{\sqrt{2}}{2}$ qismiga teng bo'ladi? Tebranishlar kosinus qonuni bo'yicha ro'y beradi.

- A) $\pm \frac{\pi}{4} \pm \pi n$ B) $\frac{\pi}{3}$ C) $\frac{\pi}{4}$ D) $\pm \frac{\pi}{4} \pm 2\pi n$

Berilgan:

$$x = \frac{\sqrt{2}}{2} x_m$$

$$\varphi = ?$$

Yechilishi:

Tebranish tenglamasini yozamiz:

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0) = x_m \cos \varphi$$

Tenglamaga berilgan kattaliklarni qo'yamiz

$$\frac{\sqrt{2}}{2} x_m = x_m \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad \varphi = \pm \frac{\pi}{4} \pm \pi n$$

Javob: A) $\pm \frac{\pi}{4} \pm \pi n$

8. 4 kg massali yuk prujinaga osilgan va T davr bilan garmonik tebranmoqda. Davr T/2 ga chaqisqarishi uchun yukning necha kilogram olib tashlash kerak?

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 3,5

Berilgan:

$$m_1 = 4 \text{ kg}$$

$$T_1 = T$$

$$T_2 = \frac{T}{2}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

$$\Delta m = ?$$

Yechilishi:

Yuqoridagi formulaga asosan:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi \sqrt{\frac{m_1}{k}}}{2\pi \sqrt{\frac{m_2}{k}}} = \frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} = \frac{T}{\frac{T}{2}} = 2$$

Bundan quyidagiga egabo'lamiz: $\sqrt{\frac{m_1}{k}} = 2 \sqrt{\frac{m_2}{k}}$

$$\frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} = 2,$$

$$\frac{m_1}{m_2} = 4,$$

$$m_1 = 4m_2,$$

$$m_2 = \frac{m_1}{4} = \frac{4}{4} = 1 \text{ kg}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 4 - 1 = 3 \text{ kg}$$

Javob: C)

9. Ketma-ketulangan, bikrligi k bo'lgan ikkita bir xil prujinaga osilgan m massali yukning tebranish davri qanday?

- A) $2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$ B) $\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ C) $2\pi \sqrt{\frac{2m}{k}}$ D) $4\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Berilgan:

$$k_1 = k_2 = k$$

$$m = m$$

$$T = ?$$

Yechilishi:

Prujinalar ketma-ket ulansa umumiy bikirlik quyidagicha topiladi:

$$\frac{1}{k_{um}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k} = \frac{2}{k}, \quad k_{um} = \frac{k}{2}$$

Prujinali mayatnikning tebranish davrini toppish formulasidan foydalanamiz:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{um}}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{k}{2}}} = 2\pi \sqrt{\frac{2m}{k}}$$

Javob: C) $2\pi \sqrt{\frac{2m}{k}}$

10. Ikkita matematik mayatnikdan birining tebranish davri 0,5 s. Agar birinchi mayatnik 6 marta tebrangan vaqtda ikkinchisi 4 marta tebransa, ikkinchi mayatnikning tebranish davri qanday bo'ladi (s)?

- A) 75 B) 7,5 C) 0,75 D) 0,075

Berilgan:

$$T_1 = 0,5 \text{ s}$$

$$N_1 = 6$$

$$N_2 = 4$$

$$t_1 = t_2 = t$$

$$T_1 = ?$$

Yechilishi:

Tebranish davrining tebranishlar soniga bo'g'liqlik formulasidan foydalanamiz.

$$T_1 = \frac{t}{N_1}, \quad T_2 = \frac{t}{N_2}$$

nisbat olamiz.

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{t}{N_1}}{\frac{t}{N_2}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$$

$$T_2 = \frac{3T_1}{2} = \frac{3 \cdot 0,5}{2} = 0,75 \text{ s}$$

Javob: C)

11. Elastik muhitda tarqalayotgan to'lqin, muhit zarralari 35 marta tebranguncha, 70 m masofani o'tsa, to'lqin uzunligi necha metr?

A) 0,5 B) 1 C) 2 D) 20 E) 35

Berilgan:

$$s = 70 \text{ m}$$

$$N = 35$$

$$\lambda = ?$$

Yechilishi:

To'lqin uzunligini topish uchun to'lqin bosib o'tgan yo'lni tebranishlar soniga bo'lish kerak

$$\lambda = \frac{s}{N} = \frac{70}{35} = 2 \text{ m}$$

Javob: C)

12. Suv yuzida tarqalayotgan to'lqin tufayli po'kak 5 s da 10 marta tebrandi. Agar to'lqinning ikkita qo'shni do'ngligi orasidagi masofa 1 m bo'lsa, uning tarqalish tezligi qanday (m/s)?

A) 2,5 B) 1 C) 2 D) 3 E) 4

Berilgan:

$$t = 5 \text{ s}$$

$$N = 10$$

$$\lambda = 1 \text{ m}$$

$$v = ?$$

Yechilishi:

To'lqin tezligi:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{N\lambda}{t} = \frac{10 \cdot 1}{5} = 2 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{t}{N}$$

$$C) v = 2 \text{ m/s}$$



V BOBGA DOIR TESTLAR

1. Chastotasi 3 Gs bo'lgan to'lqin 2,4 m/s tezlik bilan tarqalmoqda. Bir-biridan 20 sm masofada turgan ikki nuqtadagi tebranishlarning fazalar farqi ko'pi bilan necha radian bo'ladi?

A) $\pi/6$ B) $\pi/4$ C) $\pi/2$ D) $\pi/3$ E) π

2. O'zgaruvchan tokning siklik chastotasi $1000 \pi \text{ rad/s}$ bo'lsa, uning davri va chastotasi qanday?

A) 0,005 s; 200 Gs B) 0,002 s; 500 Gs C) 0,02 s; 50 Gs

D) 0,001 s; 1000 Gs E) 0,01 s; 100 Gs

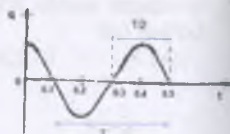
3. Tebranish konturidagi elektromagnit tebranishlar chastotasi 10^5 Gs . Tebranishlar davri qanday (mks)?

A) 10^4 B) 1000 C) 100 D) 10 E) 1

4. Tebranishlar konturi kondensatori zaryadining vaqtga bog'lanishi grafikda tasvirlangan. Zaryad tebranishlarining chastotasi qanday (Gs)?

A) 5 B) 2,5 C) 3,3 D) 10 E) 100

5. Prujinali mayatnikning to'la mexanik energiyasi 36 marta ortsa, uning



tebranish amplitudasi qanday o'zgaradi?

- A) o'zgarmaydi B) 6 marta kamayadi C) 6 marta ortadi D) 36 marta kamayadi

6. Prujinaga osilgan yukning erkin tebranishlari to'la mexanik energiyasi 5 J ga teng. Agar yukning yerdan balandligi 2 marta ortsa, uning tebranishlarining to'la mexanik energiyasi qanday bo'ladi (J)?

- A) 2,5. B) 5 C) 10 D) 12,5

7. Bikrligi 100 N/m bo'lgan prujinali mayatnikning tebranish qonuni $x=0,01\cos 5t$ (m) ko'rinishga ega. Mayatnikning maksimal kinetik energiyasi qanday (mJ)?

- A) 1 B) 5 C) 50 D) 100

8. 0,2 kg massaga ega bo'lgan yuk bikrligi 500 N/m bo'lgan prujinaga osilgan holda tebranmoqda. Agar tebranish amplitudasi 2 sm bo'lsa, yukning maksimal tezligi qanday (m/s)?

- A) 8. B) 5 C) 4 D) 1

9. $x = 20A\cos 15t$ tenglama asosida garmonik tebranma harakat qiluvchi jismning tebranishlar amplitudasi qanday?

- A) $\cos 15$. B) 15. C) 20A. D) 20.

10. Amplitudasi 20 sm, tebranish davri 5 s, boshlang'ich fazasi 0 ga teng bo'lgan garmonik tebranish tenglamasini yozing.

- A) $x = 0,2\sin 0,4\pi t$ B) $x = 0,2\sin 5\pi t$
C) $x = 20\sin 0,2\pi t$ D) $x = 20\sin(0,4\pi t + \pi/4)$.

11. Amplitudasi 1 mm, chastotasi 1000 Hz, boshlang'ich fazasi $\pi/3$ bo'lgan garmonik tebranishlarning tenglamasini tuzing.

- A) $x = 0,001 \cos(2000\pi t + \pi/3)$ B) $x = \sin(1000\pi t + \pi/3)$
C) $x = \cos(1000\pi t + \pi/3)$ D) $x = 0,001 \sin(2000\pi t)$

12. Tebranayotgan jismning muvozanat vaziyatidan siljishi davrning qanday qismida amplitudaning yarmiga teng bo'ladi?

- A) $T/12$ B) $T/3$ C) $T/4$ D) $T/8$

13. Garmonik tebranayotgan jism muvozanat vaziyatidan chetki vaziyatgacha bo'lgan masofaning birinchi yarmini davrning qanday qismida o'tadi?

- A) $T/12$ B) $T/3$ C) $T/4$ D) $T/6$

14. Agar prujinali mayatnik $a < g$ tezlanish bilan pastga tushayotgan liftga o'rnatilsa, tebranishlar davri qanday o'zgaradi?

- A) kamayadi. B) a ning qiymatiga bog'liq C) o'zgarmaydi D) ortadi

15. Prujinali mayatnik, og'irlik kuchi tezlanishi Yernikidan 4 marta katta bo'lgan planetaga Yerdan olib o'tildi. Bunda uning tebranish davri qanday o'zgaradi?

- A) o'zgarmaydi B) 4 marta kamayadi C) 4 marta ortadi.
D) 2 marta kamayadi E) 2 marta ortadi

16. Prujinaga osilgan yukning massasi 4 marta ortganda uning bo'ylama tebranish chastotasi qanday o'zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 4 marta ortadi C) 2 marta kamayadi D) o'zgarmaydi.

17. Bikrligi k_1 ga teng bo'lgan prujinaga osilgan yuk ω_1 chastota bilan tebransa, bikrligi $k_2 = 4k_1$ bo'lgan prujinaga osilgan o'sha yukning o'zi qanday ω_2 chastota bilan tebranadi?

A) $\omega_2 = 4\omega_1$ B) $\omega_2 = \omega_1/2$ C) $\omega_2 = \omega_1$ D) $\omega_2 = 2\omega_1$

18. Bikrligi 100 N/m, yukining massasi 10 g bo'lgan prujinali mayatnikning tebranishlar chastotasi qanday (Hz)?

A) 6 B) 8 C) 10 D) 16

19. Ikkita bir xil prujinali mayatnikning tebranish chastotalari nisbati $\sqrt{2}:\sqrt{5}$ bo'lsa, har bir prujinaga osilgan yuklar massalarining nisbati qanday?

A) $\sqrt{2}:\sqrt{5}$ B) 5:2 C) 4:25 D) $1:\sqrt{2}$.

20. Bikrligi 10 N/m bo'lgan prujinaga qanday (kg) yuk osilsa, tebranish davri 1 s bo'lgan mayatnik hosil bo'ladi?

A) 10 B) 0,25 C) 2,5 D) 0,025

21. Prujinaga osilgan jismning tebranishlar davri T. Agar yukning massasi 60 g ortsa, davr 2 marta ortadi. Jismning dastlabki massasi qanday (g)?

A) 10 B) 20 C) 40 D) 60

22. Prujinaga osilgan yuk garmonik tebranadi. Shu yuk xuddi shunday, lekin 4 marta uzun prujinaga osilsa, tebranish davri qanday o'zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 4 marta kamayadi C) 4 marta ortadi D) 2 marta kamayadi

23. Pujinali mayatnik prujinasining yarmi kesib tashlansa, uning tebranishlari davri qanday o'zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 2 marta kamayadi C) o'zgarmaydi D) $\sqrt{2}$ marta kamayadi

24. Agar prujina 2 marta qisqartirilib, yukning massasi 2 marta orttirilsa, prujinali mayatnikning tebranish davri qanday o'zgaradi?

A) o'zgarmaydi B) 2 martakamayadi C) 2 martaortadi. D) 4 martakamayadi

25. Matematik mayatnikning tebranishlari amplitudasi 2 marta oshsa, uning kichik tebranishlari davri qanday o'zgaradi?

A) o'zgarmaydi B) 2 marta ortadi C) 2 marta kamayadi D) 4 marta ortadi

26. Ox o'q bo'ylab tarqaluvchi yassi to'lqinning qarama-qarshi fazada tebranuvchi ikki nuqtasi orasidagi eng kichik masofa 1 m bo'lsa, to'lqin uzunligi qanday?

A) 1 B) 2 C) 4 D) 4π E) 8π

27. Kuzatuvchi dengiz to'lqinining 2 ta botiqligi orasidagi masofa 12 m ekanligini aniqladi. Agar uning yonidan har 6 s da bitta to'lqin do ngligi o'tib tursa, to'lqin tarqalish tezligi necha m/s bo'ladi?

A) 2 B) 4 C) 6 D) 12 E) 18

28. Kuzatuvchi sirena tovushini tovush chiqqandan 5 s o'tgach eshitdi. Agar sirena tovushining chastotasi 2 kHz, to'lqin uzunligi 15 sm bo'lsa, u kuzatuvchidan qanday masofada bo'lgan (m)?

- A) 100 B) 10000 C) 3000 D) 2000 E) 1500

29. Turg'un to'lqinning tugunlari orasidagi masofa 0,5 m bo'lsa, to'lqin uzunligi necha metr bo'ladi?

- A) 0,25 B) 0,5 C) 0,75 D) 1 E) 2

30. Chastotasi 20 Hz bo'lgan tovushning havodagi to'lqin uzunligi qanday (m)? Tovushning havodagi tezligi 340 m/s

- A) 7 B) 27 C) 7 D) 17 E) 170

31. Poyezddan 1200 m masofada turgan odam poyezd gudogini u yangragandan 4 s keyin eshitgan. Agar gudok chastotasi 1 kHz bo'lsa, gudok tovushining to'lqin uzunligi qanday (sm)?

- A) 3 B) 300 C) 30 D) 15 E) 60



V BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Prujinaga osilgan 20 g massali jism tebranishining maksimal potentsial energiyasi 1 J bo'lsa, jismning maksimal tezligi qanday (m/s) bo'ladi?

2. Mexanik tebranishlar $x = 0,3 \cos(16\pi t + \pi/2)$ qonuniyat bo'yicha ro'y beradi. Tebranishlar davrini toping (s).

3. Garmonik tebranayotgan jismning harakat tenglamasi $x = 0,5 \cos 10\pi t$ Jism tebranishlarining chastotasi qanday (Hz)?

4. Massasi 0,1 kg bo'lgan prujinali mayatnikning tebranish qonuni $x = 0,05 \sin 10t$ (m) korinishga ega. Prujinaning bikirligini toping (N/m).

5. Kosinus qonuni bo'yicha garmonik tebranayotgan nuqtaning $\pi/3$ fazadagi siljishi 1 sm bo'lsa, $5\pi/3$ fazadagi siljishi qanday (sm) bo'ladi?

6. Bikrligi 160 N/m bo'lgan prujinaga 400 g yuk osildi. Hosil bo'lgan mayatnikning tebranish chastotasi qanday (Hz)?

7. Prujinaga 100 g yukosilgan va u minutiga 120 marta tebranadi. Prujinaning bikrligi qanday (N/m)?

8. Bikrligi 500 N/m bo'lgan prujinaga osilganda 4 s da 5 marta bo'ylama tebranadigan yukning massasi qanday (kg)?

9. Bikrligi 125 N/m bo'lgan prujinaga osilgan yuk 8 s da 10 marta tebranmoqda. Yukning massasi qanday (kg)? $\pi^2=10$.

10. 6 N kuch ta'sirida 1,5 sm cho'ziladigan prujinaga 1 kg massali yuk osilgan. Shu yukning vertikal tebranishlari davri topilsin (s).

11. Prujina o'ziga osilgan yuk ta'sirida 10 sm uzaydi. Shu mayatnikning bo'ylama tebranishlar davrini toping (s). $g=10 \text{ m/s}^2$.

12. Tebranish davri 0,1 s bo'lgan prujinali mayatnik tebranmayotganda o'z yuki ta'sirida qanchaga cho'ziladi (mm)?

13. Matematikmayatnik Yerdan Oyg'a ko'chirilganda, uning tebranish davri necha marta ortadi?
 $g_{Oy} = 1.6 \text{ m/s}^2, g_{Er} = 10 \text{ m/s}^2$.
14. Birinchi mayatnikning tebranish davri 8s, ikkinchisidiki 6s. Ularning uzunliklari yig'indisiga teng uzunlikdagi matematik mayatnikning tebranish davri necha sekund?
15. Birinchi matematik mayatnikning tebranish davri 5s, ikkinchisidiki 4s. Bumayatniklar uzunliklari farqiga teng uzunlikdagi mayatnikning tebranish davri qanday(s)?
16. 18 m oraliqqa 4,5 ta to'liq uzunligi joylashsa, bu to'liq uzunligi qanday (m)?
17. To'liq tarqalish yo'nalishida olingan bir to'g'ri chiziqda yotuvchi ikki nuqta tebranishlarining fazalari farqi 2π ga teng. Agar shu nuqtalar orasidagi masofa 2 m bo'lsa, to'liq uzunligi qanday?
18. Qayiq 1,5 m/s tezlik bilan tarqalayotgan to'liq ustida tebranmoqda. To'liqning bir-biriga eng yaqin ikki do'ngligi orasidagi masofa 9 m. Qayiqning tebranishlar davrini toping (s)
19. Tebranish chastotasi 165 Hz bo'lgan to'liq 330 m/s tezlikda tarqalmoqda. To'liq uzunligi qanday (m)?
20. Agar tovush manbaidan 1,7 km masofadagi to'siqqa qaytgan aks sado, tovush chiqarilgach 10 s dan so'ng eshitilgan bo'lsa, tovushning shu muhitda tarqalish tezligi qanday (m/s)?
21. Tovush havodan suvga o'tganda, uning to'liq uzunligi qanday o'zgaradi? Tovushning havodagi tezligi $v_x = 330 \text{ m/s}$, suvdagi tezligi $v_c = 1485 \text{ m/s}$.
22. Tovush havodan po'latga o'tganda, to'liq uzunligi qanday o'zgaradi? Tovushning havodagi tezligi 340 m/s ga, po'latdagisi esa 5100 m/s ga teng.
23. Dengiz chuqurligi exolat yordamida aniqlanadi. Agar exolotdan yuboriigan ultratovush impuls'lari 2 s dan so'ng qaytgan bo'lsa, dengiz chuqurligi qanday (m)? Tovushning suvda tarqalish tezligi 1480 m/s.
24. Dengiz chuqurligini exolat bilan aniqlashda tovush signali yuborilganidan 6 s o'tgach qaytib kelgan. Agar dengiz chuqurligi 4500 m bo'lsa, tovushning suvdagi tezligi qanday (m/s)?

● IV BOB. ELEKTR TEBRANISHLAR VA ELEKTROMAGNIT TO'LIQLAR

Ushbu bobda biz elektr tebranishlarini hosil qiluvchi tebranish konturi bilan tanishamiz. Elektr va mexanik kattaliklarning o'xshashligi haqida gap boradi. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni va Joule-Lens qonuni o'rganamiz. Ushbu bobda radioto'liqlar hosil bo'lishi, tarqalishi, radioto'liqlarni uzatish va qabul qilish hamda radioto'liqlarni turlari haqida ma'lumotga ega bo'lamiz.



§ 27. TEBRANISH KONTURI. ELEKTR TEBRANISHLAR. TOMSON FORMULASI

Zaryad, tok kuchi va kuchlanishning davriy ravishda yoki deyarli davriy ravishda o'zgarishiga **elektr tebranishlari** deyiladi. Elektr tebranishlari ham xuddi mexanik tebranishlari kabi davriy jarayondir. Eng sodda elektr tebranishlari tebranish konturi deb ataluvchi zanjirda sodir bo'ladi.

Tebranish konturi:

Erkin elektr tebranishlari yuzaga kelishi mumkin bo'lgan eng oddiy sxema kondensator va bu kondensator qoplamalariga ulangan g'altakdan iborat sxemadir (27.1-rasm).

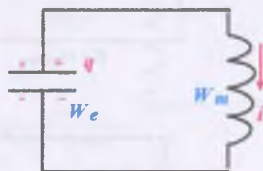
Tashqridan bizning aralashuvimizsiz sxema ichida o'z-o'zidan kechadigan elektr tebranishiga **erkin elektr tebranishi** deyiladi. Erkin elektr tebranishlari so'nmas tebranishlardir. Tebranish konturidagi tebranish kondensatordagi elektr maydon

va g'altakdagi magnit maydon energiyalarining davriy ravishda bir-biriga aylanib turishlari tarzida kechadi. Erkin elektr tebranishlari chog'ida elektr maydon va magnit maydon energiyalari davriy ravishda bir-biriga aylanib tebranma harakat qiladi. Lekin, bu energiyalar yig'indisidan iborat to'la elektromagnit maydon energiyasi o'zgarmasligicha saqlanadi.

Agar sxema zanjiri simlaridagi qarshiliklarni ham inobatga olinsa, elektromagnit maydon energiyasi asta-sekin vaqt o'tishi bilan kamayib boradi, elektromagnit maydon energiyasi simlarni qizitib issiqlikka aylanadi. Bunday tebranishni **so'nuvchi tebranish** deb ataladi. Agar zanjir qarshiligi tufayli kamaygan elektromagnit maydon energiyasini davriy ravishda manbadan zaryadlab to'ldirib turilsa, tebranish konturida **majburiy tebranish** deb ataluvchi elektr tebranishlar yuzaga keladi. Lekin, biz ushbu mavzuda faqatgina erkin elektr tebranishlarini o'rganish bilan cheklanamiz.

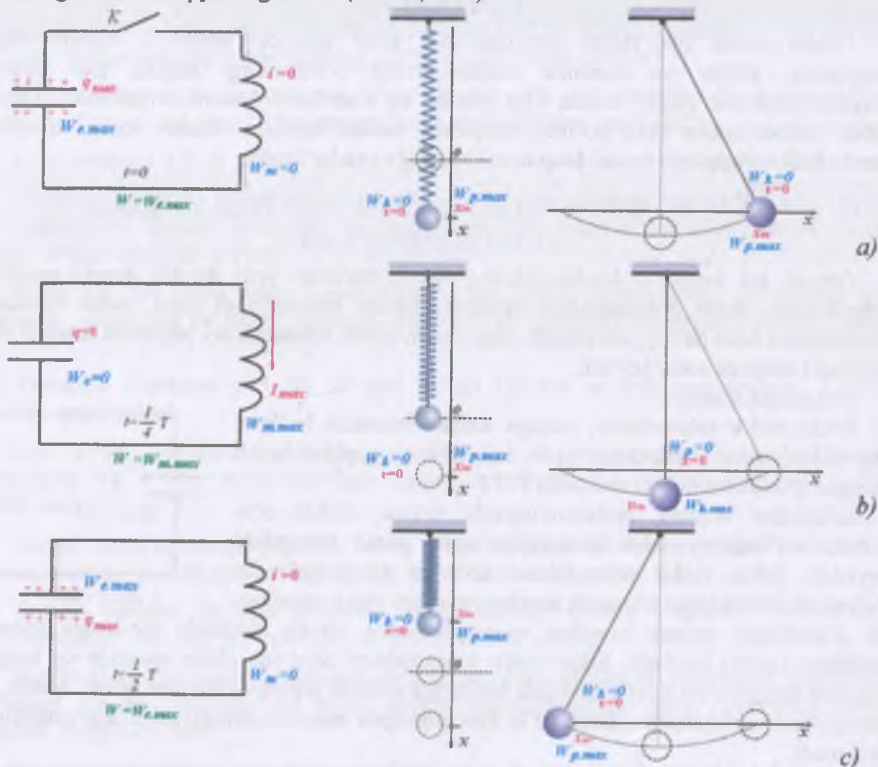
Elektr tebranishlari va mexanik tebranishlari orasida o'xshashlik bor. Elektr maydon energiyasini potensial energiyaga, magnit maydon energiyasini esa kinetik energiyaga o'xshatish mumkin. Kondensatorni zaryadlab kalit ulanish paytida maksimal elektr maydon energiyasiga ega bo'ladi. Buni x_m masofaga cho'zilgan prujinali mayatnik yoki muvozanat vaziyatidan maksimal og'dirilgan matematik mayatnikka qiyoslash mumkin. Chunki, bu paytda mayatniklar maksimal potensial energiyaga ega bo'ladi (27.2-a,rasm).

Oradan $t = \frac{T}{4}$ vaqt o'tganda kondensator to'la zaryadsizlanib bo'shaydi, g'altakdagi tok kuchi esa o'zining maksimum qiymatiga erishadi. Demak, bunda elektr maydon energiyasi nolga teng bo'lib, magnit maydon energiyasi esa o'zining maksimum qiymatiga erishadi. Buni mayatniklarni muvozanat holatidan o'tish paytiga qiyoslash



27.1-rasm

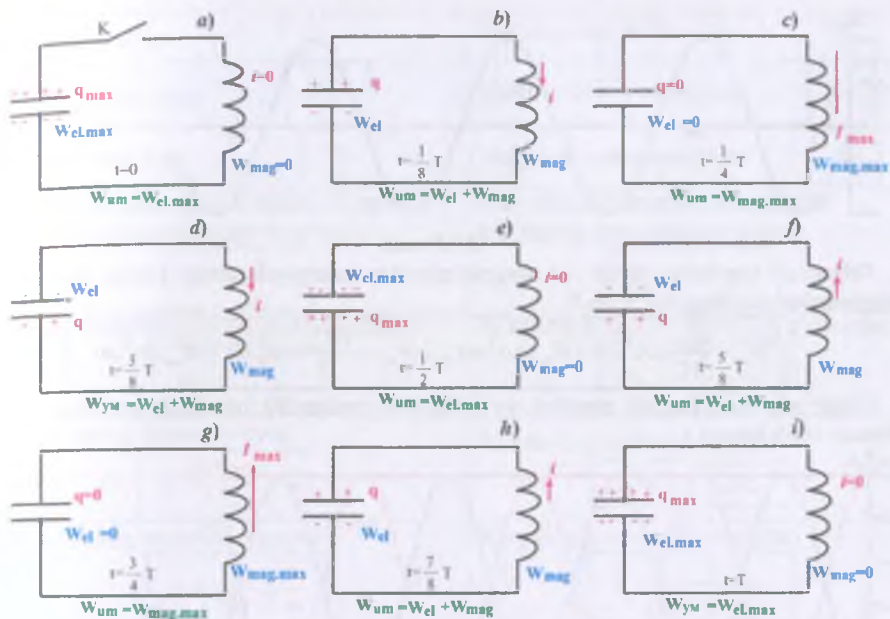
mumkin. Chunki, bu paytda potensial energiya nolga tenglashib, kinetik energiya va tezlik o'zining maksimal qiymatiga etadi (27.2-b,rasm).



27.2-rasm

Oradan $t = \frac{T}{2}$ vaqt o'tganda kondensator qayta to'la zaryadlanadi, lekin endi qoplamalar qarama-qarshi ishorali zaryadlanib qoladi. G'altakdagi tok kuchi esa nolga aylanadi. Demak, bunda magnit maydon energiyasi nolga teng bo'lib, elektr maydon energiyasi esa o'zining maksimum qiymatiga erishadi. Buni mayatniklarni muvozonat holatining qarama-qarshi tomoniga maksimal siljish paytiga qiyoslash mumkin. Chunki, bu paytda kinetik energiya nolga tenglashib, potensial energiya o'zining maksimal qiymatiga etadi (27.2-c,rasm).

Quyidagi 27.3-rasmda tebranish konturidagi bir marta to'la tebranish jarayoni, koturda zaryad, tok kuchi hamda elektr va magnit maydon energiyalari o'zgarishi tasvirlangan. Bu rasmdan ko'rinib turibdiki, kondensatordagi zaryad miqdori kamayganda g'altakdagi tok kuchi ortar ekan va aksincha zaryad miqdori ortganda esa tok kuchi kamayar ekan. Boshqacha aytganda tebranish konturida erkin tebranish jarayonida tok kuchi faza jihatidan zaryadga ko'ra $\pi/2$ qadar oldinda borar ekan.



27.3-rasm

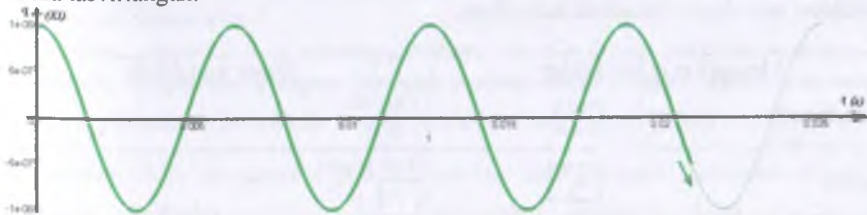
Dastlab kuzatish onida to'la zaryadlangan kondensator g'altakka ulangani uchun zaryadning vaqtga bog'lanish tenglamasi kosinuslar qonuniga bo'ysunadi, ya'ni $q = q_M \cos \omega t$ bo'ladi. Tok kuchi zaryaddan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng bo'lgani uchun $i = \frac{dq}{dt} = q' = -q_M \omega \sin \omega t = I_M \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$ bo'ladi. Demak, zaryad va tok kuchi tebranish fazalari orasida farq $\pi/2$ ga teng ekan.

Tebranish konturining kondensatoridagi zaryad miqdori va g'altakdagi tok kuchining vaqtga bog'lanish tenglamalari quyidagicha bo'ladi:

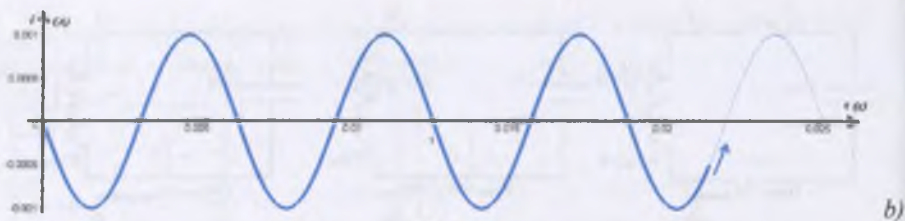
$$q = q_M \cos \omega t$$

$$I = -q_M \omega \sin \omega t = I_M \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Kondensatoridagi zaryad miqdori va g'altakdagi tok kuchining tebranish grafiklari 27.4-rasmda tasvirlangan.



a)

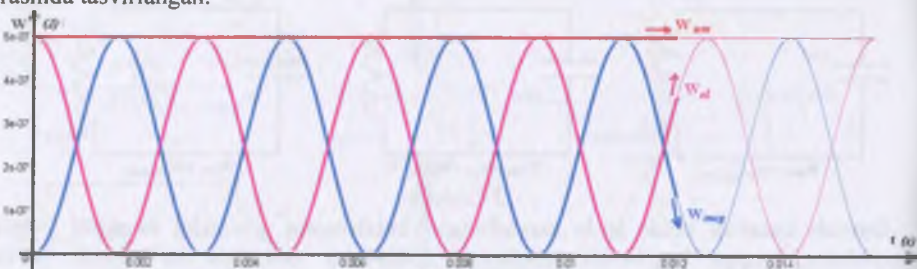


27.4-rasm

Tebranish konturida elektr va magnit maydon energiyalarining vaqtga bog'lanish tenglamalari quyidagicha bo'ladi:

$$W_E = \frac{q_{\max}^2}{2C} \cos^2 \omega t = W_{um} \cos^2 \omega t, \quad W_M = \frac{LI_{\max}^2}{2} \sin^2 \omega t = W_{um} \sin^2 \omega t$$

Elektr maydon, magnit maydon va to'la energiyalarning tebranish grafiklari 27.5-rasmga tasvirlangan.



27.5-rasm

Yuqoridagi rasmdan va formulalardan ko'rinib turibdiki, energiya tebranishi chastotasi zaryad va tok kuchi tebranishlari chastotasidan ikki marta katta bo'lar ekan. Boshqacha aytganda, zaryad va tok kuchi bir marta tebranganda elektr va magnit maydon energiyalari ikki marta tebranar ekan.

Mexanikaviy va elektr tebranishlarining o'xshashligi:

Mexanik tebranishda mexanik kattaliklar (koordinata, tezlik, tezlanish, kinetik va potensial energiyalar) vaqt o'tishi bilan davriy ravishda o'zgarsa, elektr tebranishlarida esa elektr kattaliklar (zaryad, tok kuchi, tok kuchining o'zgarish tezligi, magnit va elektr maydon energiyalar) vaqt o'tishi bilan davriy ravishda o'zgaradi. Demak, mexanik va elektr tebranishlari orasida o'xshashlik mavjud ekan. 1-jadvalda mexanik va elektr kattaliklari orasidagi o'xshashlik keltirilgan.

27.1-jadval

Mexanikaviy kattaliklar	Elektr kattaliklar
Koordinata x	Zaryad q
Tezlik v_x	Tok kuchi i
Tezlanish a_x	Tok kuchining o'zgarish tezligi i'
Massa m	Induktivlik L

Prujina bikrligi	k	Sig'imga teskari kattalik	$\frac{1}{C}$
Potensial energiya	$\frac{kx^2}{2}$	Elektr maydon energiyasi	$\frac{q^2}{2C}$
Kinetik energiya	$\frac{mv^2}{2}$	Magnit maydon energiyasi	$\frac{Li^2}{2}$
Koordinatadan olingan ikkinchi tartibli xosilaning koordinataga bog'liqligi	$x'' = -\frac{k}{m}x$	Zaryaddan olingan ikkinchi tartibli xosilaning zaryadga bog'liqligi	$q'' = -\frac{1}{L \cdot C}q$
Prujining xususiy tebranish chastotasi	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$	Konturning xususiy tebranish chastotasi	$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$
Prujining tebranish davri	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	Konturning tebranish davri	$T = 2\pi\sqrt{LC}$
Prujining tebranish chastotasi	$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$	Konturning tebranish chastotasi	$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Tomson formulasi:

Tebranish konturida kondensatordagi elektr maydon energiyasi va g'altakdagi magnit maydon energiyasi davriy ravishda bir-biriga aylanib tebranadi. Ammo, elektr va magnit maydon energiyalari yig'indisidan iborat to'la energiya vaqtning istalgan onida o'zgarmasligicha qoladi. Shuning uchun, umumiy energiyadan vaqt bo'yicha olingan hosila nolga teng bo'ladi.

$$W = \frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}, \rightarrow W' = 0, \rightarrow \left(\frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} \right)' = 0, \rightarrow \frac{1}{2C} 2qq' + \frac{L}{2} 2ii' = 0,$$

$$\frac{q}{C} i + Li i' = 0, \rightarrow \frac{q}{C} i + ii' = 0, \rightarrow \frac{q}{C} + Lq'' = 0, \rightarrow q'' = -\frac{1}{LC}q.$$

Demak, zaryaddan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosila yana zaryadga bog'liq bo'lar ekan. Buni mexanikadagi $x'' = -\frac{k}{m}x$ tenglamaga o'xshatish mumkin. Shuning uchun, mexanikada koordinata kabi zaryadning ham vaqt bo'yicha o'zgarishi sinus yoki kosinus qonuniga bo'ysunar ekan.

$$q = q_{\max} \cos \omega t, \rightarrow q' = i = -q_{\max} \omega \sin \omega t, \rightarrow q'' = i' = -q_{\max} \omega^2 \cos \omega t = -\omega^2 q$$

Demak, zaryaddan olingan ikkinchi tartibli hosila uchun ikkita $q'' = -\omega^2 q$ va $q'' = -\frac{1}{LC}q$ o'xshash formulalar bor ekan. Bundan esa $\omega^2 = \frac{1}{LC}$ yoki $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ tebranish

konturining siklik chastotasini topish formulasi kelib chiqadi. Tebranish konturining tebranish chastotasi $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ formuladan tebranish davri $T = \frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{LC}$

formuladan aniqlanadi.

Shunday qilib, tebranish konturida siklik chastota, tebranish chastotasi va tebranish davri quyidagicha bo'lar ekan:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}, \quad v = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Tebranish konturidagi elektr tebranishlarning davrini topish formulasi *Tomson formulasi* deb ham yuritiladi.

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Yuqoridagi formulalardan ko'rinib turibdiki, sig'im yoki induktivlik oshganda, tebranish davri oshib tebranish chastotasi esa kamayar ekan.



1. Elektr tebranishlari deb nimaga aytiladi?
2. Tebranish konturi nima? Unda zaryad va tok kuchi qanday tebranadi? Ularning fazalar farqi qanday?
3. Tebranish konturida energiya qanday tebranadi? Energiya tebranishi hamda zaryad tebranishi necha marta farq qiladi?
4. Tebranish konturi uchun siklik chastota va tebranish chastotasini yozing. Tomson formulasini yozib bering.
5. Mexanik va elektr kattaliklarni sanab bering.



§ 28. O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRIDA AKTIV QARSHILIK VA O'RTACHA QUUVVAT.

O'zgaruvchan tok zanjirida aktiv qarshilik:

18-mavzuda elektromagnit induksiya qonuni va uning turli tatbiqlari bilan tanishgan edik. Magnit maydonida aylanuvchi sim ramkada hosil bo'ladigan induksiya EYuKning vaqtga bog'lanish tenglamasi $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$ ko'rinishda bo'lishi bilan ham tanishgan edik. Bundan keyin biz, magnit maydonida aylanuvchi sim ramka yoki cho'lg'amli ramkani o'zgaruvchan tok manbai deb ataymiz. Bunga misol qilib turli generatorlar, GESlar, IESlari va AESlarni keltirish mumkin. Tok manбайдan iste'molchilarga elektr energiyasi uzatilganda ularni transformatorlar yordamida bir necha marta kuchaytiladi va pasaytiriladi. Elektr energiyasining qandaydir biror qismi yo'llardagi liniya simlarining qarshiligi tufayli isrof bo'ladi. Shuning uchun, tok manbaidagi induksion EYuK $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$ ning iste'molchiga etib kelgan qismini $u = U_{\max} \sin \omega t$ bilan belgilaymiz. Odatdagi 50Gs chastotali o'zgaruvchan tok kvazistatsionar (statsionarga o'xshash) tok bo'lgani uchun tok manbai va iste'molchida kuchlanish bir xil fazada tebranadi va chastota ham o'zgarmas saqlanadi. O'zgaruvchan tok manbaiga ulangan iste'molchini bundan keyin **aktiv qarshilik** deb ataymiz. Aktiv qarshilikdagi tok va kuchlanish bir xil fazada tebranadimi yoki yo'qligini tekshiraylik.

Elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra tok manbaida

$$\varepsilon = -\dot{\Phi} = -(NBS \cos \omega t) = NBS \omega \sin \omega t = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$$

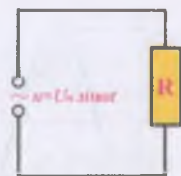
ga teng induksiya EYuK hosil bo'ladi. Bu EYuKdan iste'molchi (aktiv qarshilik)ga yetib kelgan kuchlanishni $u = U_{\max} \sin \omega t$ bilan belgilaymiz. Aktiv qarshilikdagi tok kuchi

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_{\max}}{R} \sin \omega t = I_{\max} \sin \omega t$$

ga teng bo'ladi.

Demak, o'zgaruvchan tok manbaiga aktiv qarshilik ulanganda kuchlanish va tok kuchining vaqtga bog'lanish tenglamasi quyidagicha bo'lar ekan (28.1-rasm):

$$\begin{aligned} u &= U_{\max} \sin \omega t \\ i &= I_{\max} \sin \omega t \end{aligned}$$

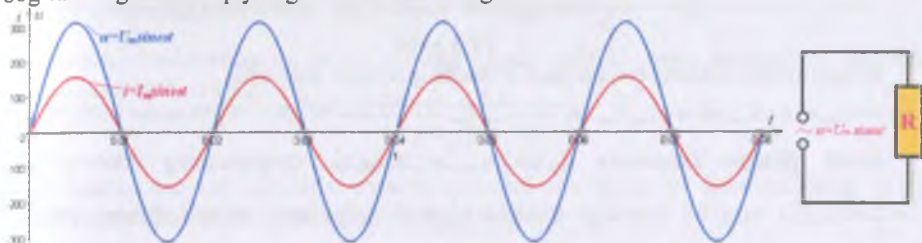


28.1-rasm

Tok kuchining amplitudaviy qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}$$

O'zgaruvchan tokka aktiv qarshilik ulanganda kuchlanish va tok kuchining vaqtga bog'lanish grafiklari quyidagi rasmda tasvirlangan.



28.2-rasm

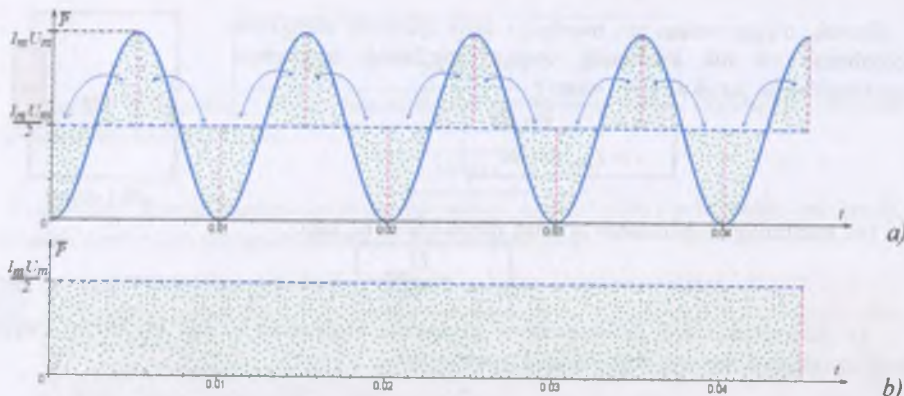
Rasmdan ham ko'rinib turibdiki, tok kuchi va kuchlanish bir vaqtda nol bo'lib, bir vaqtda maksimum yoki minimumga erishar ekan, ya'ni ular ayni bitta fazada tebranar ekan.

O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda zanjirdagi tok kuchi va kuchlanish orasidagi tebranish fazalari farqi nolga teng bo'ladi.

O'zgaruvchan tok zanjirida o'rtacha quvvat:

Biz 1-bobda o'zgaruvchan tok zanjiri uchun quvvat va ishni aniqlash uchun Joule-Lenz qonuni bilan tanishgan edik. Endi bizni o'zgaruvchan tok zanjiri uchun quvvat yoki ish qiziqtiradi. O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda, bu qarshilikdagi tok kuchi va kuchlanishning qiymatlari $u = U_{\max} \sin \omega t$ va $i = I_{\max} \sin \omega t$ qonuniyatga ko'ra har onda o'zgarib turadi. Agar kuchlanish $\nu = 50 \text{ Gs}$ chastota bilan o'zgarsa, quvvatning har ondagi qiymati ham shiddat bilan o'zgaradi. Qaysidir vaqt onida quvvat $p = iu = 0$ bo'lsa, yana qaysidir paytda $p = iu = I_{\max} U_{\max}$ ga teng bo'ladi. Bizni quvvatning oniy qiymati emas, balki bir davrdagi o'rtacha qiymati qiziqtiradi. Boshqacha aytganda, bir davr davomida aktiv qarshilik tok manбайдan o'ziga qancha quvvat oldi, ya'ni nimani o'ziga singdira oldi.

Biz elektr qismida o'zgaruvchan tokning quvvati $P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ formulalar yordamida aniqlanishi bilan tanishgan edik. O'zgaruvchan tokning bir davrdagi o'rtacha quvvati uchun ham shunga o'xshash $\bar{p} = \bar{i} \bar{u} = \bar{i}^2 R = \frac{\bar{u}^2}{R}$ formula kiritamiz. Bu yerda: $\bar{p}$ – o'zgaruvchan tokning bir davrdagi o'rtacha qiymati, $\bar{i}$ va $\bar{u}$ – o'zgaruvchan tok kuchi va kuchlanishning bir davrdagi o'rtacha qiymatlari.



28.3-rasm

O'zgaruvchan tokning bir davrdagi o'rtacha quvvatini aniqlaylik.

$$p = i u = I_{\max} \sin \omega t \cdot U_{\max} \sin \omega t = I_{\max} U_{\max} \sin^2 \omega t = I_{\max} U_{\max} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} - \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} \cos 2\omega t = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} = \bar{p}$$

Hosil qilingan formulada $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} - \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} \cos 2\omega t$ tenglamaning ikkinchi hadi $\frac{I_{\max} U_{\max}}{2} \cos 2\omega t$ ning bir davrdagi o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi. Bunga quyidagi 28.3-a, rasmdan ko'rib ham ishonch hosil qilish mumkin. Natijada, o'zgaruvchan tokning bir davrdagi o'rtacha quvvati uchun $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2}$ natijaga ega bo'lamiz (28.3-b, rasm).

Biz yuqorida o'zgaruvchan tokning bir davrdagi o'rtacha qiymati uchun $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2}$ natijani olgan edik. Om qonuni $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}$ ga ko'ra $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} = \frac{U_{\max}^2}{2R}$ yoki $U_{\max} = I_{\max} R$ ga asosan $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} = \frac{I_{\max}^2 R}{2}$ bo'ladi. Bundan esa $\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m^2}{2R}$ natija kelib chiqadi.

Demak, o'zgaruvchan tok zanjirida o'rtacha quvvatni tok kuchi va kuchlanishning maksimal qiymatlari orqali ifodalash quyidagi ko'rinishlarda bo'lar ekan:

$$\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m^2}{2R}$$

Tok kuchining bir davrdagi o'rtacha qiymati kvadratidan olingan kvadratik ildizga tok kuchining ta'sir etuvchi qiymati deyiladi.

O'zgaruvchan tok manbai uchun bir davrdagi o'rtacha quvvat $\bar{p} = \bar{I}^2 R$ ga teng. Ikkinchi tomondan tok kuchi uchun $i = I_{\max} \sin \omega t$ dan foydalansak, o'rtacha quvvat uchun $\bar{p} = I_m^2 R \sin^2 \omega t = \frac{I_m^2 R}{2} - \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\omega t = \frac{I_m^2 R}{2}$ natijaga ega bo'lamiz. Demak, bir davrdagi o'rtacha quvvat $\bar{p} = \bar{I}^2 R = \frac{I_m^2 R}{2}$ ga teng ekan. Bundan $\bar{I}^2 = \frac{I_m^2}{2}$ kelib chiqadigan ifadaning ikkala tomonidan kvadrat ildiz olinsa, $\sqrt{\bar{I}^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = I$ hosil bo'ladi.

Demak, tok kuchining ta'sir etuvchi (yoki effektiv yoki samarador) qiymati quyidagicha bo'lar ekan:

$$I = \sqrt{i^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Kuchlanishning bir davrdagi o'rtacha qiymati kvadratidan olingan kvadratik ildizga kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati deyiladi.

O'zgaruvchan tok manbai uchun bir davrdagi o'rtacha quvvat $\bar{p} = \frac{\bar{u}^2}{R}$ ga teng. Ikkinchi tomondan tok kuchi uchun $u = U_{\max} \sin \omega t$ dan foydalansak, o'rtacha quvvat uchun $\bar{p} = \frac{U_m^2}{R} \sin^2 \omega t = \frac{U_m^2}{2R} - \frac{U_m^2}{2R} \cos 2\omega t = \frac{U_m^2}{2R}$ natijaga ega bo'lamiz. Demak, bir davrdagi o'rtacha quvvat $\bar{p} = \frac{\bar{u}^2}{R} = \frac{U_m^2}{2R}$ ga teng ekan. Bundan $\bar{u}^2 = \frac{U_m^2}{2}$ kelib chiqadigan ifodaning ikkala tomondan kvadrat ildiz olinsa, $\sqrt{\bar{u}^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = U$ hosil bo'ladi.

Demak, kuchlanishning ta'sir etuvchi (yoki effektiv yoki samarador) qiymati quyidagicha bo'lar ekan:

$$U = \sqrt{\bar{u}^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

O'zgaruvchan tok zanjirida o'rtacha quvvatni tok kuchi va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlari orqali ifodalash quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{p} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Shunday qilib, R iste'molchi o'zgarmas U kuchlanish manbaiga ulanganda ajraladigan quvvat va ta'sir etuvchi qiymati $U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$ ga teng bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga ulanganda ajraladigan quvvatlar bir xil bo'lar ekan. Uyimizda foydalanadigan $U = 220V$ kuchlanishimiz o'zgaruvchan kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati bo'lib, uning maksimal qiymati esa $U_{\max} = \sqrt{2}U \approx 310V$ ga tengdir. Kuchlanish $\nu = 50Gs$ chastotada $-310V, 0V, +310V$ qiymatlar qabul qilib shiddat bilan o'zgaradi. Unga biror aktiv qarshilik—iste'molchi ulanganda esa iste'molchiga $220V$ lik o'zgarmas kuchlanish kabi quvvat bilan ta'sir etadi.



1. Aktiv qarshilik deb nimaga aytiladi?
2. O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda tok kuchi va kuchlanishning vaqtga bog'lanish tenglamalarini yozing. Ular orasidagi fazalar siljishini ayting.
3. O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda bir davrdagi o'rtacha quvvat formulalarini yozing.
4. Tok kuchining ta'siri etuvchi qiymati nima? Uning formulasini yozing.
5. Kuchlanishning ta'siri etuvchi qiymati nima? Uning formulasini yozing.

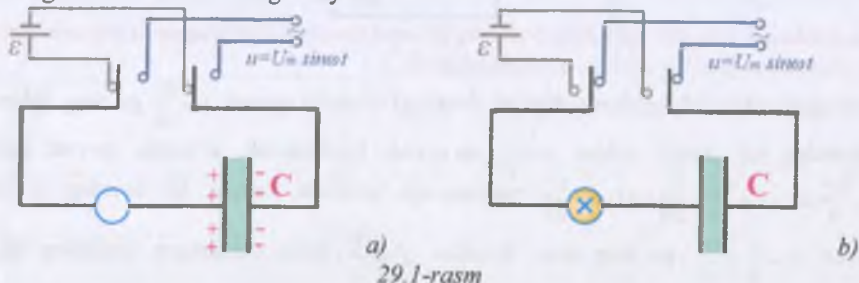


§ 29. O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRIDA KONDENSATOR VA G'ALTAK.

O'zgaruvchan tok zanjirida kodensator:

Biz 29.1-rasmdagidek zanjir yig'aylik. Ixtiyorimizda o'zgarmas va o'zgaruvchan tok manbalari bo'lib, o'zgarmas tok manbaining EYuK ε o'zgaruvchan kuchlanishning ta'sir

etuvchi qiymatiga teng bo'lsin. Dastlab kondensatorni o'zgaras tok manbaiga, so'ngra esa o'zgaruvchan tok manbaiga ulaylik.



29.1-rasm

a) dastlab kondensatorni o'zgaras tok manbaiga ulasak lampochka yonmaydi. Chunki, kondensator qoplamalari dielektrik bilan ajratilgan, ya'ni zanjir uzilgan. Haqiqatda kondensator zaryadlanayotganda millisekunddan ham qisqa vaqt ichida lampa tolasi orqali tok o'tadi. Bu vaqtda lampa tolasi cho'g'lanishga ulgurmaydi, ozgina cho'g'lansa ham biz buni sezmaymiz. Juda qisqa vaqt ichida kondensator zaryadlanib bo'ladi va undan keyin esa zanjirdan tok o'tish to'xtaydi.

b) endi kondensatorni o'zgaruvchan tok zanjiriga ulaganimizda lampa xira yonadi. Kondensatorning sig'imini qancha oshirsak lampa ravshanligi ham shuncha ortadi. Haqiqatda zanjir uzoq bo'lsa tok qanday paydo bo'ladi?

– Kuchlanish o'zgaruvchan bo'lganligi sababli kondensator qoplamalari davriy ravishda zaryadlanib va zaryadsizlanib turadi. Qayta zaryadlanish paytida lampa tolalari orqali tok o'tadi va tola qizib lampa cho'g'lanadi. Lekin, hech qachon tok kondensatorning bir qoplamasidan boshqa qoplamasiga o'tmaydi. Faqat zaryadlanib va zaryadsizlanib turadi, xolos.

O'zgaruvchan kuchlanishni yuzaga keltiruvchi tok manbai (GES, AES, IES va h.)da EYuK $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$ qonun bo'yicha o'zgarsa, iste'molchilarda ham shu qonuniyat bo'yicha o'zgaradi. O'zgaruvchan tok tok manбайдan iste'molchilarga uzatilishda bir necha marta transformatorlar vositasida kuchaytirilishi yoki susaytirilishi mumkin. Ammo bu jarayonda elektr kattalikning tebranish chastotasi va fazasi o'zgarmaydi. Shuning uchun, iste'molchilardagi kuchlanish $u = U_{\max} \sin \omega t$ qonun bo'yicha o'zgaradi deyish mumkin. U holda kondensator qoplamalaridagi zaryad esa

$$q = Cu = CU_{\max} \sin \omega t$$

qonun bo'yicha o'zgaradi. Tok kuchi esa zaryaddan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng. Shuning uchun tok kuchi vaqt bo'yicha

$$i = q' = CU_{\max} \omega \cos \omega t = I_{\max} \sin(\omega t + \pi/2)$$

qonunga muvofiq o'zgarar ekan.

Demak, o'zgaruvchan tok manbaiga kondensator ulanganda zaryad, kuchlanish va tok kuchining vaqt bo'yicha o'zgarishi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\begin{cases} U = U_M \sin \omega t \\ q = CU_M \sin \omega t \\ i = q' = CU_M \omega \sin(\omega t + \pi/2) \end{cases}$$

Tok kuchi bilan kuchlanishning amplituda qiymatlarining bog'liqligi va sig'im qarshilik quyidagicha bo'ladi:

$$I_{\max} = \omega C U_{\max} = \frac{U_{\max}}{X_C}, \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Yuqoridagi formuladan ham ko'rinib turibdiki, sig'im qarshilikning qiymati kondensator sig'imi va tok chastotasiga teskari proporsional bo'lar ekan. Shuning uchun ham kondensatorning o'zgaras tokka ko'rsatadigan qarshiligi cheksiz katta bo'lib, o'zgaruvchan tokka ko'rsatadigan ta'siri esa chekli $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$ qiymatga ega bo'lar

ekan. Boshqacha aytganda 29.1-b, rasmda o'zgaruvchan tok chastotasi yoki kondensator sig'imi oshirilganda lampa ravshanligi ham ortar ekan.

Tok kuchi va kuchlanishlarning vaqtga bog'lanish grafiklari esa quyidagi rasmda keltirilgan:



29.2-rasm

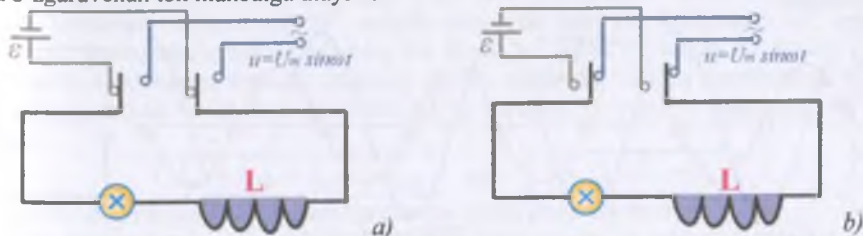
Yuqoridagi rasmdan ham ko'rinib turibdiki, tok kuchi va kuchlanishlar bir xil fazada tebranmayapti.

O'zgaruvchan tok zanjiriga kondensator ulanganda tok kuchining tebranishlar fazasi kuchlanishning tebranishlar fazasidan $\pi/2$ qadar oldinda borar ekan.

Buning ma'nosi shuki, kondensator zaryadlana boshlagan paytda to kuchi eng katta, kuchlanish esa nolga teng bo'ladi. Kuchlanish eng katta qiymatga erishganda esa tok kuchi nolga teng bo'lib qoladi va hokoza.

O'zgaruvchan tok zanjirida g'altak:

Biz 29.3-rasmdagidek zanjir yig'aylik. Ixtiyorimizda o'zgaras va o'zgaruvchan tok manbalari bo'lib, o'zgaras tok manbainig EYuK ε o'zgaruvchan kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatiga teng bo'lsin. Dastlab kondensatorni o'zgaras tok manbaiga, so'ngra esa o'zgaruvchan tok manbaiga ulaylik.



29.3-rasm

a) dastlab g'altakni o'zgaras tok manbaiga ulasak, lampochka biroz vaqtdan keyin ravshan yona boshlaydi. Bunga sabab o'zinduksiya hodisasidir. Endi g'altak induktivligini oshirib yana o'zgaras tok manbaiga ulasak, lampa xuddi avvalgidek ravshan yonadi, faqat cho'g'lanish vaqti ortib ketadi.

b) endi g'altakni o'zgaruvchan tok manbaiga ulasak, o'zgarmas tokka ulangandagiga qaraganda xiraroq yonadi. Agar g'altakning induktivligi oshirila borilsa, lampaning xiralashishi yanada ortadi. Nima uchun o'zgaruvchan tokka ulanganda lampa xiraroq yonadi?

– O'zgaruvchan tok shiddat bilan o'zgargani uchun g'altakdagi tok kuchi manbaning o'zidagi tok kuchining har bir oniy qiymatiga mos holda erishishga ulgurmaydi, har bir oniy qiymatiga mos qadam tashlay olmaydi. Boshqacha aytganda, intuktivlik tok kuchining amplitudasini cheklaydi.

G'altakdagi tok kuchi ortib borganda undagi magnit oqimi ham ortib boradi. Lens qoidasiga asosan bu ortayotgan magnit maydoni g'altak cho'lg'aminin o'zida induksion tokni yuzaga keltiradi. Induksion tok yo'nalishi esa asosiy tok yo'nalishiga qarama-qarshi yo'naladi. Shu sababdan ham kuchlanish va induksion EYuK teskari ishora bilan bog'langan.

$$u = -\varepsilon_{\text{yuz}} = -(-\Phi') = \Phi' = (Li)' = (LI_{\text{max}} \sin \omega t)' = LI_{\text{max}} \omega \cos \omega t = \omega LI_{\text{max}} \sin(\omega t + \pi/2) = U_{\text{max}} \sin(\omega t + \pi/2)$$

Demak, o'zgaruvchan tok zanjiriga g'altak ulanganda tok kuchi va kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarish qonunlari quyilagicha bo'lar ekan:

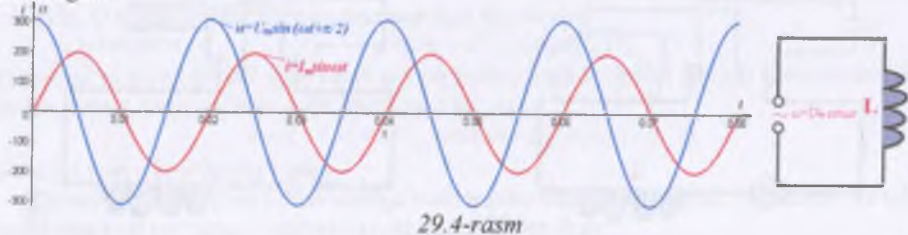
$$\begin{cases} u = \omega LI_{\text{max}} \sin(\omega t + \pi/2) = U_{\text{max}} \sin(\omega t + \pi/2) \\ i = I_{\text{max}} \sin \omega t \end{cases}$$

Tok kuchi va kuchlanish amplitudalari orasidagi bog'lanish hamda induktiv qarshilik quyidagicha bo'ladi:

$$I_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}}{\omega L} = \frac{U_{\text{max}}}{X_L}, \quad X_L = \omega L$$

Yuqoridagi formuladan ham ko'rinib turibdiki, induktiv qarshilikning qiymati g'altak induktivligi va tok chastotasiga to'g'ri proporsional bo'lar ekan. Shuning uchun ham g'altakni o'zgarmas tokka ulaganda dampa ravshanligi, o'zgaruvchan tokka ulagandagi ravshanlikdan yuqori bo'lar ekan. Induktivlik qancha oshirib borilsa, g'altakdagi tok kuchi shuncha kamayib borar ekan, ya'ni induktivlik tok kuchining maksimal qiymatini cheklar ekan (29.3-b, rasm).

Tok kuchi va kuchlanishlarning vaqtga bog'lanish grafiklari esa quyidagi rasmda keltirilgan:



Yuqoridagi rasmdan ham ko'rinib turibdiki, tok kuchi va kuchlanishlar bir xil fazada tebranmayapti.

O'zgaruvchan tok zanjiriga haltak ulanganda kuchlanishning tebranishlar fazasi tok kuchining tebranishlar fazasidan $\pi/2$ qadar oldinda borar ekan.

Induktiv g'altak o'zgaruvchan tokka qarshilik ko'rsatadi. Shu sabab tufayli g'altakdagi tok kuchi kulanishning har bir oniy qiymatiga yetishib ulgurmaydi va faza jihatdan $\pi/2$ qadar orqada boradi.



1. Mexanik harakat deb nimaga aytiladi?
2. Traektoriya, yo'l va ko'chish tushunchalariga ta'rif keltiring.
3. Sanoq sistemasini nimalar tashkil etadi?
4. Sanoq jismi harakatlanadimi yoki tinch turadimi?

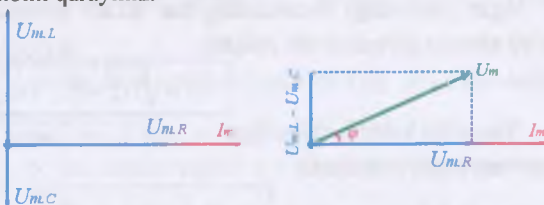
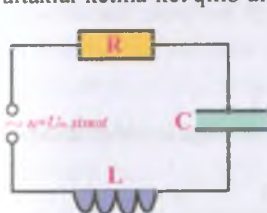


§ 30. O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRI UCHUN OM QONUNI

Oldingi mavzuda ko'rib o'tganimizdek, o'zgaruvchan tok faqat aktiv qarshilikka nisbatan befarq (inersiyasiz) bo'lib, g'altak va kondensator uchun esa qandaydir ta'sirga (inersion xususiyat) ega ekan. Agar biz elektr zanjirini ulami alohida-alohida olmasdan, balki birgalikda olgan holda tuzsak, u holda bu aralash zanjirda nima hodisa ro'y beradi? —Ushbu mavzuda aktiv qarshilik, sig'im qarshili va induktiv qarshilik birgalikda (ketma-ket yoki parallel) qilib ulangan hollar uchun Om qonuni va bunday zanjirlardagi o'rtacha quvvat bilan tanishamiz.

Ketma-ket ulanganda:

Dastlab biz o'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar ketma-ket qilib ulangan holni qaraymiz.



30.1-rasm

30.1-rasmda aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar o'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangani tasvirlangan. Elementlarning har birida kuchlanish va tok kuchi faza jihatidan farq qilgani uchun zanjirda kechayotgan hodisalarni tushuntirishda vektor diagrammadan foydalanamiz. Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar o'zaro ketma-ket bo'lgani sababli uchala elementda ham tok kuchi ayni bir fazada tebranadi. Boshqacha aytganda, ularning har birida tok kuchi bir vaqtda nol bo'lib, ayni bir vaqtda maksimumga erishadi. Shuning uchun, zanjirdagi tokning amplitudasi, ta'sir etuvchi qiymati va fazasi aktiv qarshilik, sig'im qarshilik va induktiv qarshilikda bir xil bo'ladi.

$$I_M = I_{M,R} = I_{M,C} = I_{M,L} \quad \text{yoki} \quad I = I_R = I_C = I_L$$

Vektor diagrammada tok kuchini gorizontal o'qqa joylashtiramiz.

O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va g'altak ketma-ket qilib ulanganda qarshilikda, kondensator va g'altakdagi kuchlanishning amplituda qiymatlari quyidagicha bo'ladi:

$$U_{M,R} = I_M R, \quad U_{M,C} = \frac{I_M}{\omega C}, \quad U_{M,L} = I_M \omega L$$

Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklarda kuchlanishning tebranish fazalari esa bir-biridan farq qiladi. Boshqacha aytganda, ularning har birida kuchlanish bir vaqtda nol bo'lib, ayni bir vaqtda maksimumga erishmaydi. Ulardan biri nolga teng bo'lganda boshqasi maksimum yoki minimum qiymatga erishadi.

Kondensatordagi kuchlanish fazasi tok kuchi fazasidan $\pi/2$ qadar orqada, g'altakdagi kuchlanish fazasi esa tok kuchi fazasidan $\pi/2$ qadar oldinda boradi.

Aktiv qarshilikda tok kuchi va kuchlanish fazalari bir xil bo'lgani sababli, tok kuchi va kuchlanishni tok kuchi kabi gorizontaal chiziqqa joylashtiriladi. Kondensatordagi kuchlanish tok kuchidan $\pi/2$ qadar orqada bo'lgani uchun, kuchlanishning maksimal qiymati tok kuchinikidan $-\pi/2$ burchakka ochilib vertikal pastga yo'naladi. Induktiv g'altakdagi kuchlanish tok kuchidan $\pi/2$ qadar oldinda bo'lgani uchun, kuchlanishning maksimal qiymati tok kuchinikidan $+\pi/2$ burchakka ochilib vertikal tepaga yo'naladi. Natijada, kondensator va g'altakdagi kuchlanishning tebranishlari fazasa π ga farq qilib, ular qarama-qarshi fazaga tushib qoladi. Ularni ayirmasi $U_{ML} - U_{MC}$ to'g'ri burchakli uchburchakning vertikal katetida yotsa, ikkinchi gorizontaal katetida esa U_{MR} yotadi. Bu katetlarga qurilgan parallelogram diagonalida esa natijaviy kuchlanish U_M yotadi.

Vektor diagrammadan kuchlanishning maksimal qiymati quyidagicha bo'ladi.

$$U_M = \sqrt{U_{MR}^2 + (U_{ML} - U_{MC})^2}$$

Agar yuqoridagi formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo'linsa, kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati kelib chiqadi.

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan $U_M = \sqrt{U_{MR}^2 + (U_{ML} - U_{MC})^2}$ formuladagi kuchlanishlarni tok kuchlari orqali ifodalasak

$$U_M = \sqrt{(I_{MR}R)^2 + \left(I_{ML}\omega L - I_{MC}\frac{1}{\omega C}\right)^2} = I_M \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

kelib chiqadi. Bundan esa o'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni

$$I_M = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

kelib chiqadi. Agar bu formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo'linsa, Om qonuni ta'sir etuvchi qiymatlar orqali kelib chiqadi, ya'ni

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

bo'ladi.

Demak, o'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha bo'lar ekan:

$$I_M = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

yoki

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Yuqorida Om qonunidan

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U}{Z}$$

desak, o'zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi uchun

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

ifoda kelib chiqadi. Vektor diagrammada katetlar nisbatidan foydalansak,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_{M.L} - U_{M.C}}{U_{M.R}} = \frac{I_M X_L - I_M X_C}{I_M R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

kelib chiqadi.

Demak, o'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni va 30.1-rasmdagi vektor diagrammadan foydalanib, umumiy qarshilik hamda kuchlanish bilan tok kuchi orasidagi fazalar siljishini aniqlash mumkin.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Yuqoridagi formuladan quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

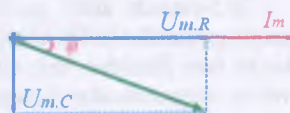
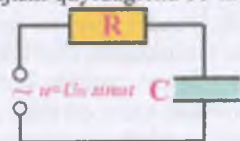
- 1) Agar $U_{M.L} > U_{M.C}$ yoki $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi > 0$ bo'ladi, ya'ni kuchlanish faza jihatidan tok kuchidan oldinda boradi;
- 2) Agar $U_{M.L} < U_{M.C}$ yoki $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi < 0$ bo'ladi, ya'ni kuchlanish faza jihatidan tok kuchidan orqada boradi;
- 3) Agar $U_{M.L} = U_{M.C}$ yoki $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi = 0$ bo'ladi, ya'ni kuchlanish va tok kuchi bir xil fazada tebranadi. Bu hodisa rezonans hodisasi deb atalib, bunda o'zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi eng minimal $Z = R$ qiymatga, tok kuchi esa eng maksimal $I = \frac{U}{R}$ qiymatga etadi.

O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklardan ikkitasini ketma-ket qilib ulansa, umumiy qarshilik, fazalar siljishi va vektor diagramma qanday ko'rinishda bo'lishiga birma-bir to'xtalib o'tamiz.

O'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan aktiv qarshilik va kondensator uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo'ladi:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{1}{R \omega C}$$



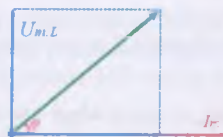
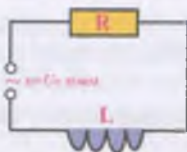
30.2-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko'rinib turibdiki, aktiv qarshilik va kondensator ketma-ket ulanganda, har doim $\varphi < 0$ bo'lar ekan, ya'ni kuchlanish tok kuchidan faza jihatidan orqada yurar ekan.

O'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan aktiv qarshilik va induktiv g'altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo'ladi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R}$$



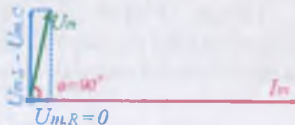
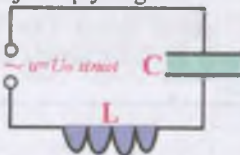
30.3-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko'rinib turibdiki, aktiv qarshilik va induktiv g'altak ketma-ket ulanganda, har doim $\varphi < 0$ bo'lar ekan, ya'ni kuchlanish tok kuchidan faza jihatidan oldinda yurar ekan.

O'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan kondensator va induktiv g'altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo'ladi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \pm 90^\circ$$

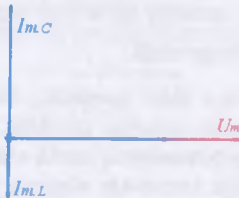


30.4-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko'rinib turibdiki, kondensator va induktiv g'altak ketma-ket ulanganda, har doim $\varphi = \pm 90^\circ$ bo'lar ekan. Agar $U_{mL} > U_{mC}$ yoki $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi = +90^\circ$ bo'lib, kuchlanish tebranishlari faza jihatidan tok kuchidan oldinda boradi. Agar $U_{mL} < U_{mC}$ yoki $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi = -90^\circ$ bo'lib, kuchlanish tebranishlari faza jihatidan tok kuchidan orqada boradi.

Parallel ulanganda:

Endi biz o'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar parallel qilib ulangan holni qaraymiz.



30.5-rasm

30.5-rasmda aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar o'zgaruvchan tok zanjiriga parallel holda ulangani tasvirlangan. Elementlarning har birida kuchlanish va tok kuchi faza jihatidan farq qilgani uchun zanjirda kechayotgan hodisalarni tushuntirishda vektor diagrammadan foydalanamiz. Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar o'zaro parallel bo'lgani sababli uchala elementda ham kuchlanish ayni bir fazada tebranadi. Boshqacha aytganda, ularning har birida kuchlanish bir vaqtda nol bo'lib, ayni bir vaqtda maksimumga erishadi. Shuning uchun, zanjirdagi kuchlanishning amplitudasi, ta'sir etuvchi qiymatlari va fazasi aktiv qarshilik, sig'im qarshilik va induktiv qarshilikda bir xil bo'ladi.

$$U_M = U_{MR} = U_{MC} = U_{ML}$$

va

$$U = U_R = U_C = U_L$$

Vektor diagrammada kuchlanishni gorizontal o'qqa joylashtiramiz.

O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va g'altak parallel qilib ulanganda qarshilikda, kondensatorda va g'altakdagi tok kuchining amplituda qiymatlari quyidagicha bo'ladi:

$$I_{MR} = \frac{U_M}{R}, \quad I_{MC} = U_M \omega C, \quad I_{ML} = \frac{U_M}{\omega L}$$

Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklarda tok kuchining tebranish fazalari esa bir-biridan farq qiladi. Boshqacha aytganda, ularning har birida tok kuchi bir vaqtda nol bo'lib, ayni bir vaqtda maksimumga erishmaydi. Ulardan biri nolga teng bo'lganda boshqasi maksimum yoki minimum qiymatga erishadi.

Kondensatordagi tok kuchi fazasi kuchlanish fazasidan $\pi/2$ qadar oldinda, g'altakdagi tok kuchi fazasi esa kuchlanish fazasidan $\pi/2$ qadar orqada boradi.

Aktiv qarshilikda kuchlanish va tok kuchi fazalari bir xil bo'lgani sababli, tok kuchi va kuchlanishni tok kuchi kabi gorizontal chiziqqa joylashtiriladi. Kondensatordagi tok kuchi kuchlanishdan $\pi/2$ qadar oldinda bo'lgani uchun, tok kuchining maksimal qiymati kuchlanishnikidan $\pi/2$ burchakka ochilib vertikal tepaga yo'naladi. Induktiv g'altakdagi tok kuchi kuchlanishdan $\pi/2$ qadar orqada bo'lgani uchun, tok kuchining maksimal qiymati kuchlanishnikidan $-\pi/2$ burchakka ochilib vertikal pastga yo'naladi. Natijada, kondensator va g'altakdagi tok kuchlarining tebranishlari fazasa π ga farq qilib, ular qarama-qarshi fazaga tushib qoladi. Ularni ayirmasi $I_{ML} - I_{MC}$ to'g'ri burchakli uchburchakning vertikal katetida yotsa, ikkinchi gorizontal katetida esa I_{MR} yotadi. Bu katetlarga qurilgan parallelogram diagonalida esa natijaviy kuchlanish I_M yotadi.

Vektor diagrammadan kuchlanishning maksimal qiymati quyidagicha bo'ladi.

$$I_M = \sqrt{I_{MR}^2 + (I_{MC} - I_{ML})^2}$$

Agar yuqoridagi formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo'linsa, tok kuchining ta'sir etuvchi qiymati kelib chiqadi.

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan

$$I_M = \sqrt{I_{MR}^2 + (I_{ML} - I_{MC})^2}$$

formuladagi tok kuchlarini kuchlanishlar orqali ifodalasak, u holda

$$I_M = \sqrt{\left(\frac{U_{MR}}{R}\right)^2 + \left(U_{ML} \omega C - \frac{U_{ML}}{\omega L}\right)^2} = U_M \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

ifoda kelib chiqadi. Bu esa o'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni

$$I_M = U_M \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

ni ifodalaydi. Agar bu formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo'linsa, Om qonuni ta'sir etuvchi qiymatlar orqali kelib chiqadi, ya'ni

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

bo'ladi.

Shunday qilib, o'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha bo'lar ekan:

$$I_M = U_M \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}$$

yoki

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}$$

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni va 30.5-rasmdagi vektor diagrammadan foydalanib, umumiy qarshilik hamda kuchlanish bilan tok kuchi orasidagi fazalar siljishini aniqlash mumkin. Yuqorida Om qonunidan

$$I = I_M \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2} = \frac{U}{Z}$$

desak, o'zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi uchun

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}$$

ifoda kelib chiqadi. Vektor diagrammada katetlar nisbatidan foydalansak,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_{MC} - I_{ML}}{I_{MR}} = \frac{X_C - X_L}{R} = \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) R$$

kelib chiqadi.

Demak, bunda umumiy qarshilik va fazalar siljishi ushbu

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) R$$

formular yordamida aniqlanar ekan.

Yuqoridagi formuladan quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

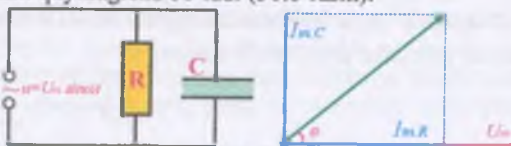
- 1) Agar $I_{MC} > I_{ML}$ yoki $\omega C > \frac{1}{\omega L}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi > 0$ bo'ladi, ya'ni tok kuchi faza jihatidan kuchlanishdan oldinda boradi;
- 2) Agar $I_{MC} < I_{ML}$ yoki $\omega C < \frac{1}{\omega L}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi < 0$ bo'ladi, ya'ni tok kuchi faza jihatidan kuchlanishdan orqada boradi;
- 3) Agar $I_{MC} = I_{ML}$ yoki $\omega C = \frac{1}{\omega L}$ bo'lsa, fazalar siljishi $\varphi = 0$ bo'ladi, ya'ni tok kuchi va kuchlanish bir xil fazada tebranadi. Bunda o'zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi eng maksimal $Z = R$ qiymatga, tok kuchi esa eng minimal $I = \frac{U}{R}$ qiymatga ega bo'ladi.

O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklardan ikkitasini parallel qilib ulansa, umumiy qarshilik, fazalar siljishi va vektor diagramma qanday ko'rinishda bo'lishiga birma-bir to'xtalib o'tamiz.

O'zgaruvchan tok zanjiriga parallel qilib ulangan aktiv qarshilik va kondensator uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo'ladi (30.6-rasm):

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + (R\omega C)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = R\omega C$$



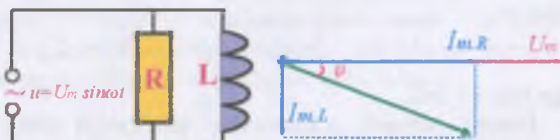
30.6-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko'rinib turibdiki, aktiv qarshilik va kondensator o'zaro parallel ulanganda, har doim $\varphi > 0$ bo'lar ekan, ya'ni tok kuchi kuchlanishdan faza jihatidan oldinda borar ekan.

O'zgaruvchan tok zanjiriga parallel qilib ulangan aktiv qarshilik va induktiv g'altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo'ladi (30.7-rasm):

$$Z = \frac{R\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{\omega L}$$



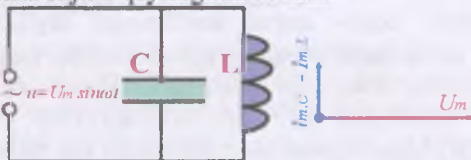
30.7-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko'rinib turibdiki, aktiv qarshilik va induktiv g'altak o'zaro parallel ulanganda, har doim $\varphi < 0$ bo'lar ekan, ya'ni tok kuchi tok kuchlanishdan faza jihatidan orqada yurar ekan.

O'zgaruvchan tok zanjiriga parallel qilib ulangan kondensator va induktiv g'altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{Z} = \omega C - \frac{1}{\omega L}$$

$$\varphi = \pm 90^\circ$$



30.8-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko'rinib turibdiki, kondensator va induktiv g'altak o'zaro parallel ulanganda, har doim $\varphi = \pm 90^\circ$ bo'lar ekan. Bunda tok kuchining kondensator yoki g'altakda katta bo'lishiga qarab ishora tanlanadi.

O'zgaruvchan tok zanjirida o'rtacha quvvat:

Biz oldingi mazurlarda aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altakning ketma-ket va parallel holda ulangan turli kombinatsiyalari bilan tanishib, ushbu zanjirlar uchun Om qonunini o'rgandik. Endi bizni o'sha zanjirlarda quvvat qanday bo'lishi qiziqtiradi.

Ixtiyoriy o'zgaruvchan tok zanjirida tok kuchi va kuchlanish tebranish fazalari farqi φ ga teng bo'ladi. Aytaylik tok kuchi $i = I_m \sin \omega t$ qonun bo'yicha tebransa, kuchlanish esa $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ qonun bo'yicha tebranadi. Tok kuchi va kuchlanishlarning qiymatlari har onda o'zgarib turgani bois, o'zgaruvchan tok zanjiridagi quvvat ham tinimsiz o'zgarib turadi. Shuning uchun, bizni o'zgaruvchan tok zanjiridagi oniy quvvat emas, balki quvvatning bir davrdagi o'rtacha qiymati qiziqtiradi. O'zgaruvchan tok zanjiridagi quvvatning bir davrdagi o'rtacha qiymatini hisoblash formulasini keltirib chiqaramiz.

Oniy quvvatni p bilan, quvvatning bir davrdagi o'rtacha qiymatini esa $\bar{p}$ bilan belgilaymiz. Oniy quvvat tok kuchi va kuchlanishning oniy qiymatlari ko'paytmasiidan topiladi.

$$p = iu = I_m \sin \omega t \cdot U_m \sin(\omega t + \varphi) = I_m U_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) = \frac{I_m U_m}{2} [\cos(\omega t + \varphi - \omega t) - \cos(\omega t + \varphi + \omega t)] =$$

$$= \frac{I_m U_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] = \frac{I_m U_m}{2} \cos \varphi - \frac{I_m U_m}{2} \cos(2\omega t + \varphi)$$

Demak, oniy quvvat

$$p = \frac{I_m U_m}{2} \cos \varphi - \frac{I_m U_m}{2} \cos(2\omega t + \varphi)$$

bo'lar ekan. Bu yerda 2-had

$$\frac{I_m U_m}{2} \cos(2\omega t + \varphi)$$

ning bir davrdagi o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi. Shuning uchun, bir davrdagi o'rtacha quvvat

$$\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2} \cos \varphi$$

ga teng bo'ladi.

Demak, ixtiyoriy o'zgaruvchan tok zanjiri uchun o'rtacha quvvatni tok kuchi va kuchlanishning maksimal va ta'sir etuvchi qiymatlari orqali ifodalanishi quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} \bar{p} &= \frac{I_m U_m}{2} \cos \varphi = \frac{I_m^2 R}{2} \cos \varphi = \frac{U^2}{2R} \cos \varphi \\ \bar{p} &= IU \cos \varphi = I^2 R \cos \varphi = \frac{U^2}{R} \cos \varphi \end{aligned}$$

Bu yerda: $\cos \varphi$ – quvvat koeffitsiyenti deyiladi. O'rtacha quvvatning qiymatini oshirish uchun zanjir shunday yig'ilish kerakki, unda quvvat koeffitsiyenti iloji boricha birga yaqinlashtiriladi. Tok kuchi va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlari qanchalik katta bo'lmasin, agar $\varphi = 90^\circ$ bo'lsa, o'zgaruvchan tok manbai energiyasidan foydalanib bo'lmaydi. Birinchi yarim davr mobaynida iste'molchiga tok manбайдan energiya kelib tursa, keyingi yarim davrda esa shu energiya tok manbaining o'ziga to'liq qaytariladi. Iste'molchilar bir davr mobaynida o'zgaruvchan tok manбайдan o'ziga hech narsa olmaydi. O'zgaruvchan tok manbaiga ulangan kondensator yoki g'altakni misol qilish mumkin. Bunda $\varphi = \pm 90^\circ$ bo'lgani uchun g'altak yoki kondensatorning bir davrdagi o'rtacha quvvati nolga teng bo'ladi.

O'zgaruvchan tok zanjirida rezonans:

Mexnika bo'limidan ma'lumki, tashqi majburlovchi kuch chastotasi xususiy tebranishlar chastotasiga tenglashganda rezonans hodisasi ro'y berar edi. Ishqalanish va qarshilik kuchlar juda kichik bo'lganda esa tebranishlar amplitudasi keskin ortib ketadi. Bobning boshida mexanik va elektr kattaliklarining o'xshashligini ko'rdik. Shu sabadan ham elektr zanjirlarida ham qarshilik R juda kichik bo'lganda rezonans hodisasi ro'y bermasmikan degan savol tug'iladi.

Haqiqatan ham tebranish konturi deb ataladigan elektr zanjirlarida bu hodisa ro'y berishi mumkin ekan. Aktiv qarshilik $R \rightarrow 0$ bo'lgan hollarda rezonans hodisasi keskin namoyon bo'lar ekan. Aktiv qarshilik kichik bo'lganda tebranish konturining xususiy chastotasi

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

formula bilan aniqlanadi.

Majburiy tebranishlarda konturga berilgan o'zgaruvchan kuchlanishning chastotasi tebranish konturining xususiy chastotasiga teng bo'lganda tok kuchi o'zining maksimal qiymatiga erishadi:

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Xuddi mexanik rezonansdagi kabi, tebranish konturidagi rezonansda ham tashqi manbadan energiya kelib turishi uchun qulay sharoit tug'iladi. Tok kuchi faza jihatdan kuchlanish bilan bir xil bo'lsa, konturdagi quvvat eng katta bo'ladi.

Tashqi o'zgaruvchan kuchlanishga ulanish bilanoq zanjirdagi tok kuchi o'zining rezonans qiymatiga birdan erishmaydi. Tebranishlar asta-sekin qaror topadi. Tok kuchi tebranishlarining amplitudasi har bir davr davomida rezistorda ajraladigan energiya konturga shu vaqt ichida kelib turadigan energiyaga tenglashguncha ortib boradi.

$$\frac{I_m^2 R}{2} = \frac{I_m U_m}{2}$$

Bundan tok kuchining rezonans paytida qaror topgan amplitudasi uchun

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

kelib chiqadi. $R \rightarrow 0$ bo'lganda rezonans tokining qiymati cheksiz ortadi. R juda katta bo'lganda esa rezonans haqida gapirishning ma'nosi bo'lmaydi.

Rezonans paytida tok kuchining o'sishi bilan bir qatorda kondensator va g'altaklardagi kuchlanishlar ham keskin ortadi.



1. Aktiv qarshilik, kondensator va g'altak ketma-ket ulangan hol uchun Om qonuni ifodasini yozing.
2. Aktiv qarshilik, kondensator va g'altak ketma-ket ulanganda umumiy kuchlanish va qarshilik nimaga teng. Bunda fazalar siljishi qanday?
3. Aktiv qarshilik, kondensator va g'altak ketma-ket ulanganda faza jihatdan qachon to kuchi oldinda va qachon kuchlanish oldinda boradi?
4. Kondensator va g'altak ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo'ladi?
5. Kondensator va g'altak ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo'ladi?
6. Kondensator va g'altak ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo'ladi?
7. Aktiv qarshilik, kondensator va g'altak parallel ulangan hol uchun Om qonuni ifodasini yozing.
8. Aktiv qarshilik, kondensator va g'altak parallel ulanganda umumiy kuchlanish va qarshilik nimaga teng. Bunda fazalar siljishi qanday?
9. Aktiv qarshilik, kondensator va g'altak parallel ulanganda faza jihatdan qachon to kuchi oldinda va qachon kuchlanish oldinda boradi?
10. Kondensator va g'altak parallel ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo'ladi?
11. Kondensator va g'altak parallel ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo'ladi?
12. Kondensator va g'altak parallel ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo'ladi?
13. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun o'rta quvvat ifodalarini yozing.
14. Rezonans nima? Qachon rezonans hodisasi ro'y beradi?



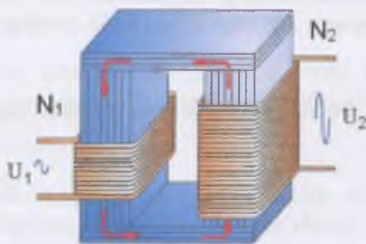
§ 31. TRANSFORMATOR VA UNDA ELEKTR ENERGIYASINI UZATISH.

Turmushda foydalanadigan elektr jihozlarining hammasi ham ayni bir 220V ga mo'ljallangan emas. Bu elektr asboblardan foydalanish uchun kuchlanishni o'zgartirish kerak bo'ladi. Bunday vazifani odatda transformatorlar bajaradi.

Transformator:

O'zgaruvchan kuchlanishni o'zgartirib berish uchun mo'ljallangan qurilmaga transformator deyiladi.

Transformator umumiy po'lat o'zakka kiydirilgan ikkita izolyasiyalangan sim cho'lg'amli g'altakdan iborat (31.1-rasm). G'altaklarni birini birlamchi cho'lg'am ikkinchisini esa ikkilamchi cho'lg'am deyiladi. Birlamchi cho'lg'am yuzasida hosil bo'lgan magnit oqimi ikkilamchi cho'lg'amda ham hosil bo'lishi uchun o'zaklar odatda magnit singdiruvchanligi yuqori bo'lgan ferromagnit materiallardan tayyorlanadi. Bu



31.1-rasm

ferromagnit o'zaklarda aylanma—Fuko toklari hosil bo'lib, o'zak qizib ketmasligi uchun o'zak bir-biri bilan ajratilgan plastinalar shaklida tayyorlanadi.

Birlamchi cho'lg'amdagi o'ramlar soni N_1 , kuchlanish U_1 , tok kuchi I_1 bo'lsa, ikkilamchi cho'lg'amda esa o'ramlar soni N_2 , kuchlanish U_2 , tok kuchi I_2 bo'ladi. Birlamchi cho'lg'amga berilgan U_1 kuchlanish cho'lg'amning har bir o'ramida teng $e = \frac{U_1}{N_1}$

ga teng kuchlanish hosil qiladi. Birlamchi cho'lg'amdan chiquvchi magnit oqimining deyarli hammasi ferromagnit o'zak bo'ylab yo'naladi va yonidagi ikkilamchi cho'lg'amni ham kesib o'tadi. G'altakda tok o'zgariganda g'altak yuzini kesib o'tuvchi magnit oqimi ham o'zgaradi. Bu o'zgaruvchan magnit oqimi yonidagi ikkilamchi cho'lg'am yuzini ham kesib o'tadi. Natijada, ikkilamchi cho'lg'amning har bir o'ramida e ga teng induksion EYuK hosil bo'ladi. Ikkilamchi cho'lg'amning chiqishidagi kuchlanish $U_2 = e N_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1$ ga

teng bo'ladi. Bundan $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k$ kattalik kelib chiqib, k —transformatsiya koeffitsienti deyiladi.

Cho'lg'amlardagi kuchlanishlar nisbati mos holda o'ramlar soni nisbatiga teng bo'lib, bu nisbatga transformatsiya koeffitsienti deyiladi.

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Transformatorlar uchun k koeffitsient muhim ahamiyatga ega. Kuchlanishni qancha o'zgartirish kerakligiga qarab k ning qiymati tanlanadi. Ayniqsa, transformatsiya koeffitsientining qiymati birdan katta yoki kichik bo'lishiga qarab kuchaytiruvchi yoki pasaytiruvchi bo'lishi mumkin.

Agar $k > 1$ bo'lsa, u holda $U_2 < U_1$ bo'lib, bunday transformator pasaytiruvchi hisoblanadi.

Agar $k=1$ bo'lsa, u holda $U_2=U_1$ bo'lib, bunday transformator o'zgarish bo'lmaydi.

Agar $k<1$ bo'lsa, u holda $U_2>U_1$ bo'lib, bunday transformator kuchaytiruvchi hisoblanadi.

Transformatorning F.I.K.

Transformator ikkilamchi cho'lg'ami iste'molchiga ulanganda bu cho'lg'amda ajraladigan quvvatga **transformatorning ish rejimidagi quvvati** deyiladi. Transformator ikkilamchi cho'lg'amidagi quvvatning birlamchi cho'lg'amdagi quvvatga nisbatiga **transformatorning ish rejimidagi FIKI** deyiladi.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1}$$

Odatda transformatorlarning foydalish ish koeffitsienti 100%ga juda yaqin bo'lib, u $\eta=98-99,5\%$ oraliqda bo'ladi. Masalalar ishlaganda $\eta=100\%$ deb ketiladi.

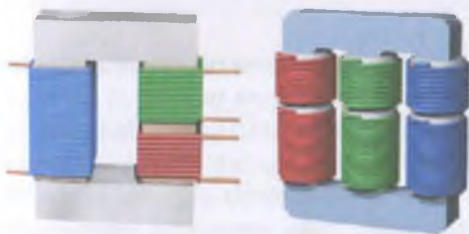
Transformator kuchlanishni necha marta oshirib bersa, tok kuchini esa shuncha marta kamaytiradi. Shuning uchun, quvvatni hech qachon oshirib uzatib bo'lmaydi. Buni xuddi mexanikaning oltin qoidasiga o'xshatish mumkin. Chunki, energiyaning saqlanish qoidasiga asosan ishdan yoki energiyadan yutuq beradigan qurilma yasash mumkin emas. Cho'lg'amlarning qizishini hisobga olmaganda ikkala cho'lg'amdagi quvvat deyarli bir xil bo'ladi.

$$P_2 \approx P_1, \quad I_1 U_1 \approx I_2 U_2, \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Transformatorning salt ishlashi:

Transformatorning ikkilamchi cho'lg'ami iste'molchi–nagruzkaga ulanmagan holda ishlashiga **transformatorning salt ishlashi** deyiladi.

Transformator salt ishlaganda ikkilamchi cho'lg'amda chiqish kuchlanishi U_2 ga teng bo'lib, ikkilamchi cho'lg'am uzuq bo'lgani uchun undagi tok kuchi $I_2=0$ bo'ladi. Shuning uchun, ikkilamchi cho'lg'amda quvvat isrofi ham bo'lmaydi, ya'ni $P_2=0$ bo'ladi. Lekin, transformatorning birlamchi cho'lg'amida tok kuchi $I_1 \neq 0$ va quvvat $P_1 \neq 0$ bo'ladi. Chunki, birlamchi cho'lg'am uzuq bo'lmagani va birlamchi cho'lg'am simining elektr qarshiligi mavjudligi tufayli ham ana shunday bo'ladi. Shunday qilib, transformatorning salt ishlash rejimida energiya isrofi faqat birlamchi cho'lg'amda sodir bo'lar ekan, ya'ni bu rejimda faqat birlamchi cho'lg'amda qizish kuzatilar ekan.



31.2-rasm

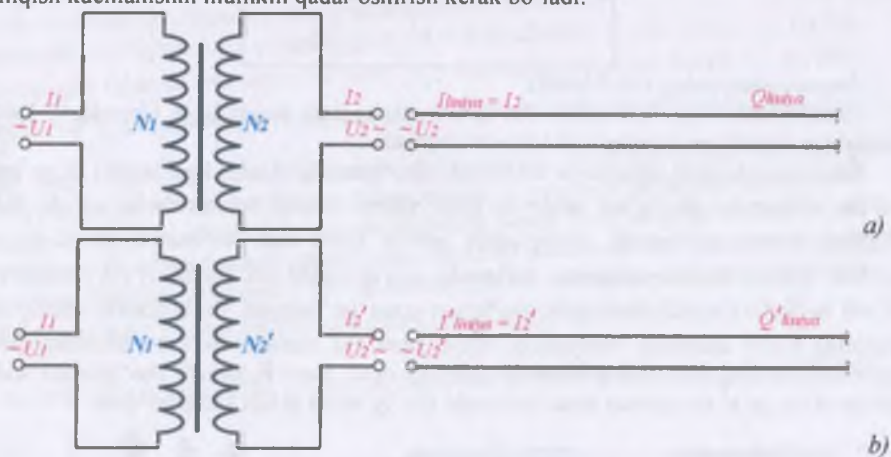


31.3-rasm

Transformatorlarsiz hozirgi kundagi turmushimizni tasavvur qilib bo'lmaydi. Chunki, uyimizdagi har bir elektr jihozi o'zgaruvchan 220V kuchlanishga ulangani bois, ularning har birida pasaytuvchi transformator o'rnatilgan bo'ladi. Biz yuqorida ko'rib chiqqan transformator eng oddiy transformatorning ishlash prinsipi edi. Undan tashqari hozirda transformatorlarning nihoyatda ishlatilish maqsadiga qarab ko'p turlari mavjud. Bitta o'zakning o'ziga bir nechta cho'lg'amlar kiydirilib, ulardan bir nechta chiqish kuchlanishlari olish mumkin (31.2-rasm). 31.3-rasmda esa aholi yashash punktlarida ishlatiladigan pasaytuvchi transformator tasvirlangan.

Transformator yordamida elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatish:

Transformatorlardan o'zgaruvchan tokni o'zgartirish uchun foydalanishdan tashqari o'zgaruvchan tokلامي uzoq masofalarga uzatib, eltib berishda ham foydalaniladi. Elektr energiyasini ular ishlab chiqiladigan GES, IES va AESlaridan uzoq masofalarga – yuzlab, minglab kilometrlarda joylashgan aholi punktlariga, zavod, fabrika va boshqa iste'molchilarga isrofsiz etkazib berish katta ahamiyatga ega. Elektr energiyasini uzoq masofalarga mumkin qadar yo'qotishlarsiz, “nes-nobud” qilmasdan uzatish kerak bo'ladi, ya'ni tok uzatuvchi liniya simlaridagi isrof bo'ladigan elektr energiyasi mumkin qadar kamaytirilishi talab etiladi. Buning uchun Joule-Lensi qonuni $Q = I^2 R \Delta t$ ga ko'ra liniyadagi tok kuchi iloji boricha kamaytiriladi. Liniyadagi tok kuchi esa bu transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidagi chiqish tok kuchi bo'lgani uchun ikkilamchi cho'lg'amdagi chiqish kuchlanishni mumkin qadar oshirish kerak bo'ladi.



31.4-rasm

Ixtiyorimizda ikkita transformator bo'lib, bu transformatorlarning birlamchi cho'lg'amlarida bir xil N_1 ta, ikkilamchi cho'lg'amlarida esa turlicha N_2 ta va N_2' ta o'ramlar soni bo'lsin. Transformatorlarda kirish kuchlanishi U_1 , kirish tok kuchi I_1 ga teng bo'lib, chiqish kuchlanishlari va tok kuchlari turlicha bo'ladi. Chiqishdagi kuchlanish va tok kuchining qiymatlari mos holda 1-transformatorda U_2 va I_2 bo'lsa, 2-transformatorda esa U_2' va I_2' bo'ladi (31.4-rasm). Elektr energiyasini uzoq masofalarga 1-transformator yordamida uzatilganda liniya simlaridagi energiya isrofi Q_{havya} bo'lsa, 2-

transformator yordamida uzatilganda esa liniya simlaridagi energiya isrofi Q'_{liniya} bo'ladi (31.4-rasm).

Ikkala holda liniya simlarida ajralgan issiqlik miqdorlari

$$\begin{cases} Q_{issiq} = I_2^2 R \Delta t \\ Q'_{liniya} = I_2^2 R \Delta t \end{cases}$$

ga teng bo'ladi. Bu ikkala tenglaslar nisbati

$$\frac{Q'_{liniya}}{Q_{issiq}} = \frac{I_2^2 R \Delta t}{I_2^2 R \Delta t} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2$$

bo'lib, undan esa

$$\frac{Q'_{liniya}}{Q_{issiq}} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2 = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$$

kelib chiqadi. Bundan izlanayotgan kattalik

$$Q'_{liniya} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2 Q_{issiq} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 Q_{issiq}$$

ga teng bo'ladi.

Demak, agar liniyadagi tok kuchi I_2 bo'lganda yo'ldagi isrof bo'lgan energiya Q_{liniya} bo'lsa, Agar liniyadagi tok kuchi I_1 bo'lganda esa yo'ldagi isrof bo'lgan energiya Q'_{liniya} quyidagicha bo'ladi:

$$Q'_{liniya} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2 Q_{liniya} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 Q_{issiq}$$

Yuqoridagi formuladan shunday xulosalar qilish mumkin ekan:

- 1) Agar ikkilamchi cho'lg'amdagi kuchlanish n marta oshirilsa (yoki undagi tok kuchi n marta kamaytirilsa), elektr energiyasini uzatuvchi liniya simlaridagi energiya isrofi n^2 marta kamayar ekan.
- 2) Agar elektr energiyasini uzatuvchi liniya simlaridagi energiya isrofi n marta kamayagan bo'lsa, ikkilamchi cho'lg'amdagi kuchlanish $\sqrt{n}$ marta oshirilgan (yoki undagi tok kuchi $\sqrt{n}$ marta kamaytirilgan) bo'lar ekan.



1. Transformator nima?

2. Transformatsiya koeffitsienti nima? Uning formulasini yozing.

3. Transformatorning salt ishlashi va yuklanishdagi ishlashini tushuntiring.

4. Transformatorlar qachon kuchaytuvchi va qachon pasaytuvchi bo'ladi?

5. Transformatorning FIK nima? Nima uchun FIK mumkin qadar 100% ga yaqin bo'lish kerak?

6. Nima uchun elektr energiyasini uzoq masofalarga yuqori kuchlanishlar bilan uzatiladi?



§ 32. ELEKTROMAGNIT MAYDON NAZARIYASI. GERS TAJRIBALARI. ELEKTROMAGNIT TO'LOQLARINI XOSSALARI

Elektromagnit maydon nazariyasi:

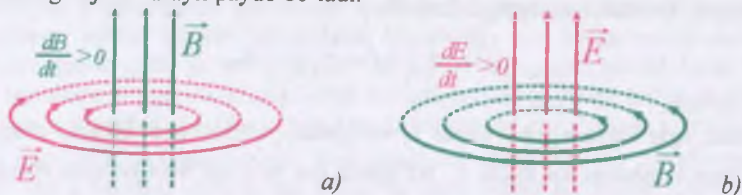
XIX asrning 60-yillarida ingliz olimi Jeyms Klerk Maksvell elektr va magnit maydonlarining yagona elektromagnit nazariyasini yaratdi. Maksvell bu nazariyani yaratishda o'sha vaqtgacha o'tkazilgan fundamental tajribalarga tayandi. O'sha vaqtgacha elektr va magnit maydonlari ayri-ayri holda mavjud bo'lishi ta'kidalanar edi.

Maksvellning elektromagnit nazariyasiga asosan elektr va magnit maydonlari yagona elektromagnit maydonning ikki komponentalari ekan. Elektromagnit nazariya asosida elektr va magnit maydonlarining uzviy bog'lanishda ekanligini tasdiqlovchi ikki g'oya yotadi:

1) Vaqt davomida o'zgaruvchan elektr maydoni o'zgaruvchan magnit maydonini vujudga keltiradi;

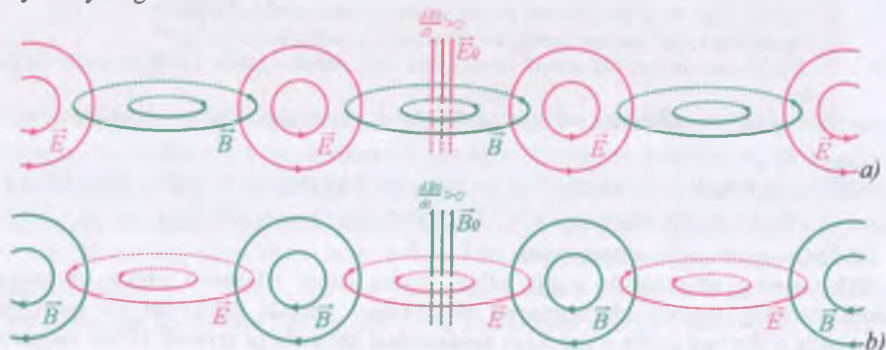
2) Vaqt davomida o'zgaruvchan magnit maydoni o'zgaruvchan elektr maydonini vujudga keltiradi;

Elektr maydoni siljiganda yoki o'zgarganda bu elektr maydoni bilan o'ng vint hosil qiluvchi magnit maydoni paydo bo'ladi. Demak, paydo bo'lgan magnit maydoni uni yuzaga keltirgan elektr maydoniga perpendikulyar tekislikda yotar ekan (32.1-a,rasm). To'g'ri tokning atrofidagi magnit maydoni ham aynan tokli o'tkazgich ichidagi erkin elektronlarning siljishi tufayli paydo bo'ladi.



32.1-rasm

Magnit maydoni siljiganda yoki o'zgarganda bu elektr maydoni bilan chap vint hosil qiluvchi elektr maydoni paydo bo'ladi. Demak, paydo bo'lgan elektr maydoni uni yuzaga keltirgan magnit maydoniga perpendikulyar tekislikda yotar ekan (32.1-b,rasm). O'zgaruvchan magnit maydoni hosil qilgan elektr maydonini *uyurmaviy elektr maydoni* deb ham ataladi. Uyurmaviy elektr maydoni elektrostatik maydondan tubdan farq qiladi. Elektrostatik maydon potensial xarakterga ega bo'lib, u zaryaddan boshlanib zaryadda tugat edi, ya'ni elektrogstatik maydonning boshi va oxiri bor. Uyurmaviy elektr maydoni esa zaryaddan boshlanib, zaryadda tugamaydi, uning boshi va oxiri yo'q. U xuddi magnit maydoni kabi uyurmaviydir. Uyurmaviy elektr maydoni ochiq o'tkazgichga ta'sir etganda o'tkazgich uchlarida potensial farqi hosil qiladi, berk o'tkazgichga ta'sir etganda esa erkin elektronlarini harakatga keltirib elektr tokini induksiyalaydi. Elektromagnit induksiya hodisasida konturda hosil bo'ladigan induksion tokni aynan shu uyurmaviy elektr maydoni yuzaga keltiradi.



32.2-rasm

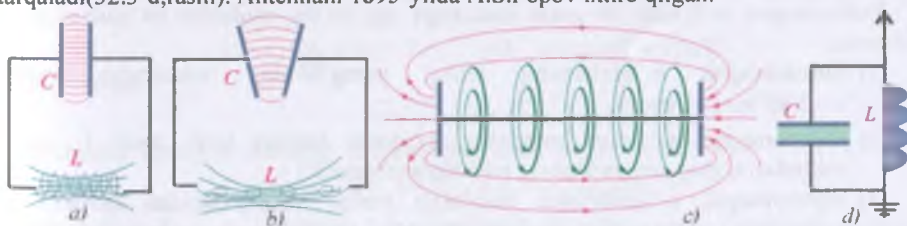
Shunday qilib, elektr va magnit maydonlarini bir-biridan ajratish mumkin emas ekan. Elektr maydoni o'zgargan joyda magnit maydoni va aksincha, magnit maydoni o'zgargan joyda esa elektr maydoni paydo bo'laverar ekan. Fazoning biror sohasida magnit maydoni o'zgarayotgan yoki siljiyotgan bo'lsa, shu sohada albatta elektr maydoni ham paydo bo'ladi. Boshqacha aytganda, o'zgaruvchan elektr va magnit maydonlari biri-birini "dunyoga keltiraveradi", ya'ni ular biri-birining ijodkoridir (32.2-rasm).

Gers tajribalari:

Davriy ravishda o'zgaruvchan elektromagnit maydonning fazoda tarqalish jarayoniga *elektromagnit to'liqini* deyiladi.

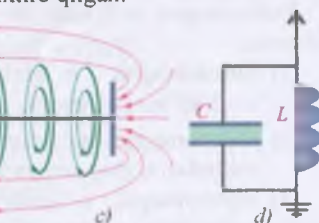
Tebranish konturi yordamida elektromagnit to'liqini hosil qilish mumkinligini oldindan aytgan. Haviqatan ham tebranish konturi yordamida elektromagnit to'liqini hosil qilish mumkin, lekin bunda atrofga tarqaladigan elektromagnit to'liqining energiyasi juda ham kam bo'ladi. Chunki, elektr maydon energiyasi kondensator qoplamalari orasida, magnit maydon energiyasi esa g'altakda to'plangani uchun atrofga juda kam to'liqin tarqalad. Bunday konturni *berk tebranish konturi* deb ataladi (32.3-a,rasm). To'liqlarning atrofga tarqalishi sezilarli bo'lishi uchun chastotani oshirish kerak. Chastotani oshirish uchun $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ formulaga muvofiq induktivlik va sig'imni kamaytish kerak bo'ladi. Bunga

esa kondensator qoplamalari va g'altak o'ramlari orasidagi masofani oshirib erishish mumkin (32.3-b,rasm). Chastotani yanada oshirish uchun g'altak o'ramlari o'rniga to'g'ri sim olish kerak, kondensator qoplamalari orasi yanada uzoqlashtirib *ochiq tebranish konturi* holiga keltirish lozim (32.3-c,rasm). Berk konturida kondensator qoplamasiga vertikal sim –antennna ulansa atrofga to'liqin tarqalishi yaxshilanadi. Bunda antenna bo'ylab to'liqin tarqalmaydi, antennaga perpendikulyar tekislikda esa eng kuchli tarqaladi(32.3-d,rasm). Antennani 1895-yilda A.S.Popov ixtiro qilgan.

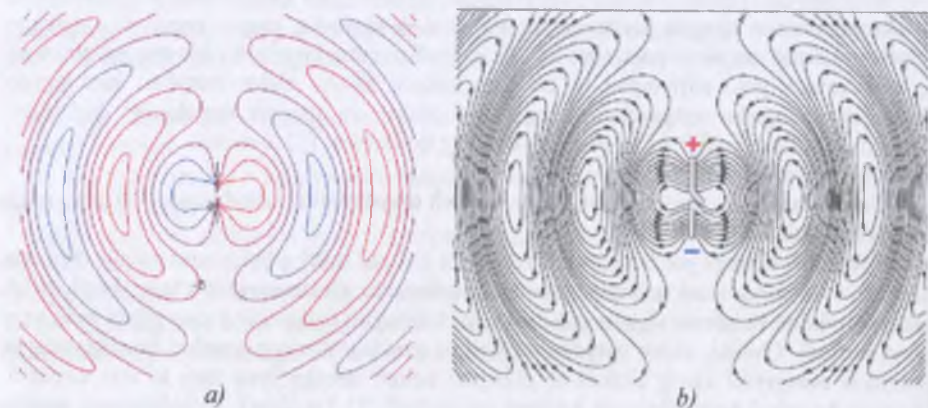


32.3-rasm

Ochiq tebranish konturini to'g'ri sim – sterjen olib, uni o'rtasidan ikkiga bo'lib ham hosil qilish mumkin. Kesilgan joyni yo'g'onlashtirib shar shakliga keltirilsa, sig'im oshadi. Bu kesilgan joyni uchqun oraliq deyiladi. Ana shunday soddagini qurilmadan foydalanib, 1888-yilda dunyoda 1-marta nemis fizigi Gers sun'iy yo'l bilan elektromagnit to'liqlarini hosil qildi. Bu qurilma uning sharafiga *Gers vibratori* deb nomlandi (32.4-rasm). Gers o'z tajribalarida 10^8 Gs tartibda, ya'ni to'liqin uzunligi 0,6–10m bo'lgan oraliqda elektromagnit to'liqlar hosil qilishga muvaffaq bo'ldi. Keyinchalik 1895-yilda P.N.Lebedev juda kichik vibrator yordamida uzunligi 0,6 mm bo'lgan elektromagnit to'liqlari hosil qildi. Yana ham qisqaroq, uzunligi 0,1 mm tartibida bo'lgan elektromagnit to'liqlarni keyinchalik 1923-yilda Glagoleva va Arkadevalar hosil qilishdilar.



32.4-rasm



32.5-rasm

Tebranish konturida zaryadli zarralar tebranma harakat qilgani bois, elektromagnit to'liqini tebranma harakat qilayotgan zaryadli zarralar hosil qilar ekan deyish mumkin. Elektromagnit to'liqinini hosil qilishning eng oson usuli elektr dipolini tebranma harakatga keltirishdir. Boshqacha aytganda, elkasi ℓ ga teng bo'lgan elektr dipol zaryadlari orasidagi masofa $-\ell < r < \ell$ o'zgarib tebranma harakat qilsa, bu elektr dipolidan atrofga elektromagnit to'liqini tarqaladi. 32.5-rasmda elektr diporli tebranganda hosil bo'ladigan elektromagnit to'liqining oniy tasviri keltirilgan. Dipol elkasidan juda katta masofalarda elektromagnit to'liqini deyarli sferik ko'rinishda bo'ladi.

Elektromagnit to'liqlarning xossalri:

Elektromagnit to'liqlar bir qator xossalarga ega bo'lib, shulardan ba'zilarini sanab o'tamiz:

- 1) Elektromagnit to'liqlarining tezligi yorug'likning vakuumdagi tezligi $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ga tengdir.
- 2) Elektromagnit to'liqlari ko'ndalang to'liqlar sirasiga kirib, unda $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlari o'zaro perpendikulyar tekislikda tebranadi.
- 3) Elektromagnit to'liqlarining muhitdagi tezligi vakuumdagidan kichik ($v < c$). Sruningdek, vakuumdan muhitga o'tganda elektromagnit to'liqining to'liq uzunligi ham kichrayadi, chastotasi esa o'zgarms saqlanadi.
- 4) Elektromagnit to'liqini to'g'ri chiziqli bo'ylab tarqaladi. Undan tashqari metall to'siqlarga duch kelganda undan qaytishi, parafindan yasalgan uchburchakli prizmada sinishi, parafin linzada fokuslanishi mumkinligi tajribada isbotlangan.
- 5) Elektromagnit to'liqini mexanik to'liqlari kabi interferensiyalanish vadifraksiya xossalriga ega.

Elektromagnit to'liq intensivligi:

Elektromagnit to'liqining shunchaki tarqalishi emas, uning qanchalik shiddat bilan, intensiv ravishda tarqalayotgani muhimdir. Ana shu maqsadda elektromagnit to'liqining intensivligi tushunchasi kiritiladi.

Elektromagnit to'liqining tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar birlik yuzadan birlik vaqtda ko'chib o'tuvchi elektromagnit to'liqini energiyasiga elektromagnit to'liq

intensivligi deb ataladi. Boshqacha aytganda, intensivlik birlik yuzadan o'tuvchi elektromagnit to'lqin quvvatidir.

Elektromagnit to'lqin intensivligi quyidagicha bo'ladi:

$$I = \frac{W}{St} = \frac{P}{t} \left[\frac{Vt}{m^2} \right]$$

yoki

$$I = \omega \cdot c \left[\frac{Vt}{m^2} \right]$$

Bu yerda: S – elektromagnit to'lqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar holda joylashgan ixtiyoriy shakldagi kontur yuzasi, W – yuzadan o'tgan to'lqin energiyasi, t – energiya o'tish vaqti, ω – energiya oqim zichligi, o'lchov birligi $[\omega] = [J/m^2]$.

Umov-Poynting vektori:

Elektromagnit maydoni elektr zaryadlari yoki tokli o'tkazgichlarsiz ham mavjud bo'ladi. Faqat, bunda elektromagnit maydoni o'zini to'lqin tarzida namoyon qilib atrofga $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ga teng tezlikda tarqalib ketadi. Elektromagnit maydoni energiyaga ega ekan, elektromagnit to'lqini ham tarqalganda o'zi bilan elektr va magnit maydonlari energiyasini eltadi. Oldingi boblarda elektr va magnit maydoni energiyalari zichliklari quyidagi

$$\omega_e = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2}, \quad \omega_m = \frac{\mu \mu_0 H^2}{2}$$

ekanligi bilan tanishgan edik. Elektromagnit to'lqin tarqalganda bu energiyalar birgalikda tarqaladi, ya'ni elektromagnit maydon energiyasi elektr va magnit maydon energiyalari yig'indisiga tengdir.

$$\omega = \omega_e + \omega_m = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu \mu_0 H^2}{2}$$

Tebranish konturida elektr va magnit maydon energiyalari davriy ravishda bir-biriga aylanib turishini eslasak, elektr va magnit maydon energiyalari o'zaro tengligi kelib chiqadi.

$$\omega = \omega_e + \omega_m = 2\omega_e = 2\omega_m, \quad \text{yoki} \quad \omega = \epsilon \epsilon_0 E^2 = \mu \mu_0 H^2$$

Bundan esa

$$\sqrt{\omega} = \sqrt{\epsilon \epsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H$$

kelib chiqadi. Energiya zichligini quyidagicha ifodalash ham mumkin:

$$\omega = \sqrt{\omega} \cdot \sqrt{\omega} = \sqrt{\epsilon \epsilon_0} E \cdot \sqrt{\mu \mu_0} H = \sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} E H$$

Biz $\vartheta = \frac{c}{n} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ formula bilan tanishmiz. Shuning uchun yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\omega = \frac{E H}{\vartheta}$$

Natijada, biz energiya oqim zichligi deb ataluvchi ushbu formulaga ega bo'lamiz:

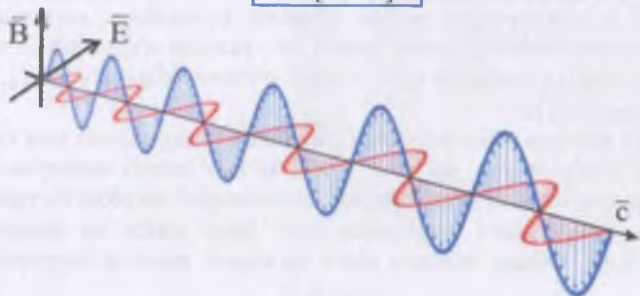
$$S = \omega \vartheta = E H \left[\frac{Vt}{m^2} \right]$$

Elektromagnit to'lqinining tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar birlik yuzadan birlik vaqtda ko'chib o'tuvchi elektromagnit to'lqin energiyasiga energiya oqim zichligi deb ataladi.

Elektromagnit to'lqin intensivligi $I = \frac{W}{St}$ ni esga olsak, intensivlik va energiya oqim zichligi ayni bir narsa ekan.

$\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlari o'zaro va to'liqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyardir. Boshqacha aytganda, $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlari va to'liqin tarqalish yo'nalishi bilan o'ng vint hosil qiladi (32.6-rasm). Shundan foydalanib, energiya oqim zichligini vektorli ko'rinishda ham yozish mumkin bo'ladi.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$



32.6-rasm

Energiya oqim zichligi vektor tushunchasini birichi bo'lib 1874-yilda rus olimi N.A.Umov umumiy holda to'liqlar uchun kiritgan edi. Bu tushunchani 1884-yilda ingliz fizigi J.G.Poynting xususiy holda aynan elektromagnit to'liqlari uchun qo'llagan. Shuning uchun energiya oqim zichligi vektorini **Umov-Poynting vektor** deb yuritiladi.



1. Uyurmaviy elektr maydoni deb nimaga aytiladi?
2. Elektr va magnit maydonlari bir-birini qanday hosil qilishini tushuntiring.
3. Gers tajribalarini aytib bering.
4. Elektromagnit to'liqini uzoq masofalarga qanday uzatiladi?
5. Umov-Poynting vektor nima? Uning miqdori va yo'nalishini ayting.
6. Elektromagnit maydon energiya zichligi formulasini yozing.



§ 33. RADIOALOQA, TELEVIDENIYA VA RADIOLOKATSIYA HAQIDA TUSHUNCHA. RADIOTO'LQIN SHKALASI

Radioaloqa, televideniya va radiolokatsiya haqida tushuncha:

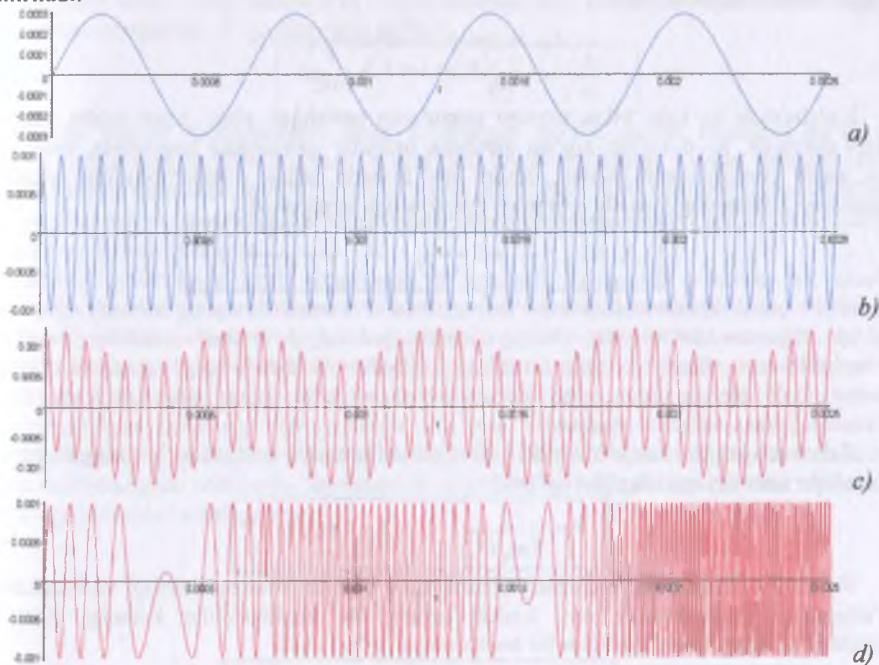
Ma'lumki, tovush to'liqlari tebranishlari 20–20000Gs oralig'ida bo'lib, radioaloqada foydalaniladigan 10^4 – 10^{11} Gs chastotalardan ko'ra 10^3 – 10^7 marta kichikdir. Vibrator nurlaydigan elektromagnit to'liqin energiyasi chastotaning 4-darajasiga proporsionaldir ($\omega \sim \nu^4$). Shu sababi tovush to'liqini elektr signallariga aylantirilganda u deyarli nurlanmaydi, tarqalmaydi. Elektromagnit to'liqini nurlanishi uchun esa past chastotali tovush signallrini yuqori chastotali tebranishlari bilan qo'shiladi, ya'ni modulyasiyalanadi. Bunda hosil bo'lgan tebranishlarni **modulyasiyalangan tebranishlar**, tovush tebranishlarini **modullovchi tebranishlar**, yuqori chastotali elektr tebranishlarini esa **eltuvchi tebranishlar** deb ataladi. Past chastotali tovush tebranishlari bilan modulyasiyalangan radioto'lqinga **radiosignal** deyiladi. 32.7-rasmda bu jarayonning sxemasi keltirilgan.



32.7-rasm

Agar modulyasiyalash natijasida tebranish amplitudasi o'zgarsa, amplituda modulyasiyasi, chastota o'zgarsa, chastota modulyasiyasi hosil bo'ladi. 32.8-a,rasmda past chastotali tovush tebranishlari, 32.8-b,rasmda yuqori chastotali elektr tebranishlari hamda 32.8-c,d,rasmalarda esa amplitudasi va chastotasi modulyasiyalangan tebranishlar tasvirlangan.

Radioto'lqinlar *qa'bul qilgich (priyomnik)* deb ataladigan maxsus qurilmalar yordamida tutiladi va tovush signallariga aylantiriladi. Lekin, bunda yuqori chastotali tovush signalini inson qulog'i eshitmaydi. Shu boisdan ham bu signallar ichidan past chastotali tovush signallari ajratib olinadi, ya'ni modulyasiyalashga teskari ish amalga oshiriladi.



32.8-rasm

Qa'bul qilgichlar yordamida modulyasiyalangan tebranishlardan past chastotali tovush tebranishlarini ajratib olish usuliga *detektorlash* deb ataladi.

Radioaloqadan radioeshittirishlarni uzatishda va turli ovozi aloqalarda foydalanilsa, televideniya esa tasvirlarni uzatishda foydalaniladi. Teleko'rsatuvlarda har sekundda 25ta kadr ketma-ket almashib turadi. Lekin, biz buni sezmaymiz. Har bir kadr videosignalga aylantiriladi hamda yuqori chastotali elektr signali bilan qo'shib modulyasiyalanadi. Bu modulyasiyalashni amalga oshirish uchun esa o'ta yuqori chastotali elektr tebranishlaridan foydalanish kerak bo'ladi. Boshqacha aytganda, eltuvchi tebranish chastotasi ultraqisqa sohaga tegishli bo'lishi kerak bo'ladi. Lekin ultraqisqa to'lqinlari orqali uzatilgan videosignallari Yer sirtida yutiluvchan va ionosfera qatlamidan o'tib ketuvchan xususiyatga ega bo'ladi. Natijada teleko'rsatuvlarni ko'z ko'rish diapozoniga uzatilishi mumkin bo'ladi. Teleko'rsatuvlarni uzoqroq masofalarga uzatish uchun ularni balandroq nuqtalardan – teleminoralaridan turib uzatiladi. Ostankino teleminorasining balandligi 540m bo'lib, uni 130kmga, Toshkent teleminorasining balandligi esa 375m bo'lib, uni 100kmga benouson uzatish mumkin.

Radioaloqa va televideniyaning ishlash prinsipi tebranish konturida bo'ladigan rezonans hodisasiga asoslangan. Uzatkich va qa'bul qilgichni tebranish konturlaridagi tebranish konturlari ayni bir chastotaga sozlangandagina rezonans hodisasi ro'y beradi.

O'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket qilib ulangan aktiv qarshilik, sig'im va induktivlik uchun tok kuchining maksimal qiymati orasidagi bog'lanish ushbu avval aytganimizdek quyidagicha:

$$I_M = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Ko'rinishda bo'lishi bilan avvalgi mazularda tanishgan edik. Agar ushbu zanjirda aktiv qarshilik $R=0$ bo'lib, sig'im qarshilik induktiv qarshilikka tenglashsa, zanjirdagi tok kuchi cheksiz oshib ketadi. Xuddi shu holatda tashqi manba tokining tebranish chastotasi konturning xususiy tebranish chastotasiga tenglashadi.

$$\lambda_C = X_L, \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C}, \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \omega_0$$

Aktiv qarshiligi juda kichik bo'lgan tebranish konturida uning xususiy chastotasi tashqi o'zgaruvchan kuchlanishning chastotasiga teng bo'lib qolsa, tokning majburiy tebranishlar amplitudasi keskin ortadi. Elektr tebranish konturidagi rezonans shundan iborat. Rezonans paytida tashqi kuchlanish fazasi bilan konturdagi tok kuchi fazasi o'rtasidagi faza siljishi nolga teng.

Tebranish konturi tarqatishi yoki qa'bul qilishi mumkin bo'lgan to'lqinning chastotasi va to'lqin uzunligi quyidagicha bo'ladi:

$$v = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad \lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$$

Rezonans paytida tok kuchining o'sishi bilan barobar kondensatordagi va induktivlik g'altagidagi kuchlanishlar xam keskin ortadi. Bu kuchlanishlar kattaligi jihatidan tenglashib, tashqi kuchlanishdan bir necha marta ortib ketadi.

$$\begin{cases} U_{M,REZ} = I_{M,REZ} \cdot \frac{1}{\omega C} = I_{M,REZ} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \\ U_{M,REZ} = I_{M,REZ} \cdot \omega L = I_{M,REZ} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases}$$

Radiolokatsiya detsimetrli radioto'liqlarning turli jismlar va buyumlar sirtidan qaytishiga asoslangan. Bunda 200–300 km masofadagi quyuq tuman ortiga yashiringan yoki qorong'ulikdagi yirik buyumlar, aysbergalar, kema va samolyotlarning turgan o'rni aniqlanadi. Bu maqsadda foydalaniladigan qrilmani **radiolokatorlar** deb ataladi.

Radiolakatordan signallar qisqa-qisqa impulslar tarzida jo'natiladi. Bitta impulsning davomiyligi $\tau \sim 10^{-6} s$ tartibida bo'lib, impulslar oralig'idagi vaqt esa birmuncha kattaroq, ya'ni $T \sim 10^{-3} s$ tartibida bo'ladi. To'siqdan qaytgan impulslar amplitudasi yuborilgan impulsnikidan ancha kichik bo'ladi. Chunki, to'siqqa borib kelguncha to'liq intensivligi susayib qoladi. Radar ekranidan yuborilgan va qaytgan impulsni bitta qarashda amplitudalar orasida farqdan bilib olish mumkin bo'ladi.

Radiolakatordan to'siqqacha bo'lgan masofaga **kuzatish chuqurligi** deyiladi. Yuborilgan impuls to'siqdan qaytguncha kuzatish chuqurligidan 2 marta ko'p yo'l o'tadi. Impulsning borib kelish vaqtini bilgan holda kuzatish chuqurligini aniqlash mumkin bo'ladi.

Radardan kuzatuv chuqurligi (ob'ektgachagacha bo'lgan masofa) quyidagicha bo'ladi:

$$R = \frac{c\tau}{2}$$

Bu yerda: τ – impulsning borib kelish vaqti.

Agar radar biror t vaqt ichida N ta impuls nurlasa, bitta impulning borib kelish vaqti τ va kuzatuv chuqurligi R quyidagicha bo'ladi:

$$\tau = \frac{t}{N}, \quad R = \frac{c\tau}{2} = \frac{ct}{2N}$$

Hozirgi vaqtda radiolokatsiya keng rivojlangan bo'lib, undan faqatgina ko'inmay turgan jismlarning o'rnini aniqlash maqsadida foydalanilmaydi. Undan tashqari tabiat hodisalarini o'rganishda, bulutlar hosil bo'lishi, dovul, bo'ron va turli yog'ingarchiliklarni oldindan aytish va odamlarni ogohlantirishda va boshqa maqsadlarda ham foydalaniladi.

Radioto'liqlar shkalasi:

Radioto'liqlar juda keng dipazonda qo'llaniladi. Ishlatilish sohasiga va qancha masofaga uzatilishiga qarab ularni o'ta uzun, uzun, o'rta, qisqa va ultraqisqa to'liqlarga bo'linadi. Chunki, radioto'liqlarning sinish, qaytish va yutilish xossalari to'liq uzunlikka qarab o'zgarib boradi. Masalan, uzun va o'rta to'liqlar Yer sirtidan va ionosfera qatlamidan xuddi ko'zgudan qaytgandek ko'p marta qaytib Yer sirtining ko'rinmaydigan sohalariga ham aylanib o'ta olsa, ultraqisqa to'liqlar esa Yer sirtida yutilib, ionosfera qatlamidan esa o'tib ketadi. Shu boisdan ham ultraqisqa to'liqlardan faqat ko'rinadigan sohalarida foydalanish mumkin bo'ladi. Radioto'liqlar diapazoni quyidagi jadvalda keltirilgan.

To'lqin nomi	To'lqinlar diapazoni, m	Chastotalar diapozoni, Gs
O'ta uzun to'lqinlar	10 000 m.dan katta	$3 \cdot 10^4$ dan katta
Uzun to'lqinlar	10 000-1000	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$
O'rta to'lqinlar	1000-100	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$
qisqa to'lqinlar	100-10	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$
Ultraqisqa to'lqinlar:		
-metrli	10-1	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$
-detsimetrli	1-0,1	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$
-santimetrli	0,1-0,01	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$
-millimetrli	0,01-0,001	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$



1. Nima uchun past chastotali elektr tebranishlarini uzoq masofalarga uzatib bo'lmaydi?
2. Elektromagnit to'lqini uzoq masofalarga qanday uzatiladi?
3. Modulyatsiyalash nima? Uning qanday turlari bor?
4. Detektorlash nima?
5. Kuzatish chuqurligi qanday formuladan topiladi?
6. Radito'lqinlarning turli diapozonlarini aytib bering.



V BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Tebranish konturi kondensatoridagi kuchlanishning o'zgarishi $u = 10 \cos(2 \cdot 10^3 \pi t)$ (V) tenglama bilan berilgan. Kondensator sig'imi $2,6 \cdot 10^{-2} \mu F$. Konturdagi magnit maydon energiyasining maksimal qiymati qanday (J)?

- A) $2,6 \cdot 10^{-6}$ B) $0,65 \cdot 10^{-6}$ C) $1,3 \cdot 10^{-6}$ D) $2,6 \cdot 10^{-4}$

Berilgan:

$$u = 10 \cos(2 \cdot 10^3 \pi t)$$

$$C = 2,6 \cdot 10^{-2} \mu F$$

$$W_M = ?$$

Yechilishi:

Elektr maydon energiyasining maksimal qiymati magnit maydon energiyasining maksimal qiymatiga teng.

$$W_M = W_E = \frac{CU_0^2}{2}$$

$$U = U_0 \cos(\omega t)$$

$$U_0 = 10 \text{ V}$$

$$W_M = \frac{2,6 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2}{2} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

Javob: C)

2. Sig'imi $40 \mu F$ bo'lgan kondensator 200 V kuchlanishgacha zaryadlangan va induktivligi 0,1 H bo'lgan g'altakka ulangan. G'altakdagi tok kuchining maksimal qiymati qanday (A)?

- A) 0,2 B) 0,4 C) 2 D) 4

Berilgan:

$$C = 40 \mu F$$

$$U_0 = 200 \text{ V}$$

$$L = 0,1 \text{ H}$$

$$I_0 = ?$$

Yechilishi:

Elektr maydon energiyasining maksimal qiymati magnit maydon energiyasining maksimal qiymatiga teng.

$$W_M = W_E \quad \frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}$$

$$I_0 = U_0 \sqrt{\frac{C}{L}} = 200 \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{0,1}} = 200 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 4 \text{ A}$$

Javob: D)

3. Tebranishlar konturidagi zaryadning o'zgarish qonuni $q = \sin 10t$ (C) ko'rinishga ega. Tok kuchi tebranishlarining amplitudasini toping (A).

- A) 0 B) 0,1 C) 1 D) 10

Berilgan:

$$q = \sin 10t$$

$$I_0 = ?$$

Yechilishi:

Zaryad o'zgarish tenglamasidan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila tok kuchining o'zgarish tenglamasini beradi.

$$i = \frac{dq}{dt} = 10 \cos 10t \quad \Rightarrow \quad I_0 = 10 \text{ A}$$

Javob: D)

4. O'zgaruvchan tokning siklik chastotasi 1000π rad/s bo'lsa, uning davri va chastotasi qanday?

- A) 0,005 s; 200 Hz B) 0,002 s; 500 Hz
C) 0,02 s; 50 Hz D) 0,001 s; 1000 Hz

Berilgan:

$$\omega = 1000 \pi \text{ rad/s}$$

$$T = ?, \quad \nu = ?$$

Yechilishi:

Siklik chastota davr va chastota bilan quyidagicha bog'langan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{1000\pi} = 0,002 \text{ s}; \quad \nu = \frac{1}{T} = 500 \text{ Hz}$$

Javob: B) 0,002 s; 500 Hz.

5. Chastotasi 400 Hz bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga sig'implari $C_1 = 200 \text{ pF}$ va $C_2 = 500 \text{ pF}$ bo'lgan ikki kondensator ketma-ket ulangan. Kondensatorlarning elektr qarshiligini baholang.

- A) 1,5 MΩ B) 27 MΩ C) 450 kΩ D) 2,8 MΩ

Berilgan:

$$\nu = 400 \text{ Hz}$$

$$C_1 = 200 \text{ pF}$$

$$C_2 = 500 \text{ pF}$$

$$R_C = ?$$

Yechilishi:

O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan kondensatorning qarshiligi

$$R_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

ifodadan aniqlanadi. Bu yerda ikkita kondensator ketma-ket ulanganligi uchun

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad \Rightarrow \quad R_C = \frac{1}{2\pi\nu \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}} = \frac{C_1 + C_2}{2\pi\nu C_1 C_2}$$

$$R_C = \frac{2 \cdot 10^{-10} + 5 \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 3,14 \cdot 400 \cdot 2 \cdot 10^{-10} \cdot 5 \cdot 10^{-10}} \approx 2,8 \text{ M}\Omega$$

Javob: D) 2,8 MΩ.

6. Sig'imi $2 \mu\text{F}$ bo'lgan kondensator chastotasi 50 Hz bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan. Agar kuchlanishning samarador qiymati 220 V bo'lsa, zanjirdan o'tayotgan tok Kuchining samarador qiymati qanday (A)?

- A) 0,14 B) 0,7 C) 3,5 D) 1,4

Berilgan:

$$C = 2 \mu\text{F}$$

$$\nu = 50 \text{ Hz}$$

$$U_{eff} = 220 \text{ V}$$

$$I_{eff} = ?$$

Yechilishi:

O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan kondensatorning qarshiligi

$$R_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

ifodadan aniqlanadi. Zanjirning bir qismi uchun Om qonuniga asosan:

$$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R_C} = U_{eff} 2\pi\nu C = 220 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \approx 0,14 \text{ A.}$$

Javob: A) 0,14

7. Agar o'zgaruvchan tokning chastotasi 2 marta ortsa, uning zanjiridagi induktiv g'altakning qarshiligi qanday o'zgaradi?

- A) 2 marta ortadi B) 2 marta kamayadi
C) o'zgarmaydi D) 4 marta kamayadi

Berilgan:

$$\frac{v_2}{R_{L2}/R_{L1}} = \frac{2v_1}{?}$$

Yechilishi:

O'zgaruvchan tok zanjiriga faqat induktiv g'altak ulanganda induktiv qarshilik hisoblash formulasini ikkita holat uchun yozib nisbat olamiz:

$$\begin{cases} R_{1L} = \omega_1 L = 2\pi v_1 L \\ R_{2L} = \omega_2 L = 2\pi v_2 L \end{cases} \Rightarrow \frac{R_{L2}}{R_{L1}} = \frac{2\pi v_2 L}{2\pi v_1 L} = \frac{v_2}{v_1} = 2$$

$R_{L2} = 2R_{L1}$ demak, ikki marta ortadi.

Javob: A) 2 marta ortadi.

8. Aktiv qarshiligi nolga teng bo'lgan g'altakdagi kuchlanish tebranishlarining amplitudasi o'zgarmagani holda, chastotasi 3 marta ortsa, tok kuchining amplitudasi qanday o'zgaradi?

- A) 3 marta ortadi B) 3 marta kamayadi
C) 9 marta ortadi D) 9 marta kamayadi

Berilgan:

$$\begin{aligned} v_2 &= 3v_1 \\ U_{01} &= U_{02} \\ L_1 &= L_2 = L \end{aligned}$$

Yechilishi:

o'zgaruvchan tok zanjiriga faqat induktiv g'altak ulangandagi induktiv qarshilik tok chastotasiga to'g'ri proporsional:

$$R_L \sim v$$

Demak, tok chastotasi necha marta ortsa induktiv qarshilik ham shuncha marta ortadi.

$v_2 = 3v_1$ bo'lganligi uchun $R_{L2} = 3R_{L1}$ bo'ladi. Zanjirning bir qismi uchun Om qonuniga asosan va $U_{01} = U_{02}$ bo'lganligi uchun:

$$I_{01}R_{L1} = I_{02}R_{L2} \Rightarrow \frac{I_{02}}{I_{01}} = \frac{R_{L1}}{R_{L2}} = \frac{1}{3} \Rightarrow I_{02} = \frac{I_{01}}{3}$$

Javob: B) 3 marta kamayadi.

9. Zanjir ketma-ket ulangan 9 Ω aktiv qarshilik va 12 Ω induktiv qarshilikdan tuzilgan. Tok bilan kuchlanish tebranishlari orasidagi faza siljishining kosinusini toping.

- A) 0 B) 0,3 C) 0,6 D) 0,8

Berilgan:

$$\begin{aligned} R &= 9 \Omega \\ R_L &= 12 \Omega \\ \cos \varphi &=? \end{aligned}$$

Yechilishi:

O'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik g'altagi va induktivlik ulangan.

Zanjirning to'la qarshiligi quyidagicha topiladi

$$Z = \sqrt{R^2 + R_L^2}$$

Z – to'la qarshilik, R – aktiv qarshilik, R_L – induktiv qarshilik.

$$Z = \sqrt{9^2 + 12^2} = \sqrt{225} = 15 \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{9}{15} = 0,6$$

Javob: C)

10. GES generatorining rotori 125 ayl/min chastota bilan aylanmoqda. Necha juft qutb bo'lganda, 50 Gs chastotali o'zgaruvchan tok hosil bo'ladi?

- A) 5 B) 24 C) 25 D) 48 E) 50

Berilgan:

$$v_p = 125 \text{ ayl/min}$$

$$v = 50 \text{ Gs}$$

$N = ?$

Yechish:

Generatorida bir juft magnit qutbi bo'lsa 50 Gs chastotali elektr toki hosil qilish uchun rotor sekundiga 50 marta aylanishi kerak. Qutblar soni N ta bo'lsa bu holda v ni o'zgaruvchan tok hosil qilish uchun generator rotori v_p chastota bilan aylanishi kerak bo'ladi.

$$v_p = \frac{v}{N}; \quad N = \frac{v}{v_p}; \quad N = \frac{50 \cdot 60 \cdot 12}{25} = 24J; \quad N = 24 \text{ ta}$$

Javob: B)

11. Kosmik kemada o'rnatilgan radiouzatgich 20 MGs chastotada ishlaydi. U nurlaydigan radioto'lqinning uzunligi qanday (m)?

A) 10 B) 15 C) 30 D) 100 E) 300

Berilgan:

$$v = 20 \text{ MGs} = 2 \cdot 10^7 \text{ Gs}$$

$\lambda = ?$

Yechilishi:

$$\vartheta = \lambda v, \quad \lambda = \frac{\vartheta}{v}$$

$$\vartheta = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10^7} = 30 \text{ m}$$

Javob: C)

12. Kosmik kemadan tarqalayotgan, chastotasi 10 MGs bo'lgan elektromagnit to'lqinning uzunligi qanday (m).

A) 3 B) 5 C) 10 D) 30 E) 100

Berilgan:

$$v = 10 \text{ MGs} = 10^7 \text{ Gs}$$

$\lambda = ?$

Yechilishi:

$$\vartheta = \lambda v, \quad \lambda = \frac{\vartheta}{v}$$

$$\vartheta = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10^7} = 30 \text{ m}$$

Javob: D)

13. Antenna 6 MGs chastotali elektromagnit to'lqin nurlamoqda. To'lqin tarqalish yo'nalishidagi 100 km masofada nechta to'lqin joylashadi?

A) 1000 B) 1500 C) 1800 D) 2500 E) 2000

Berilgan:

$$v = 6 \text{ MGs} = 6 \cdot 10^6 \text{ Gs}$$

$$S = 100 \text{ km} = 10^5 \text{ m}$$

$$\vartheta = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$n = ?$

Yechilishi:

S masofada joylashadigan to'lqinlar sonini topish uchun, S masofani to'lqin uzunligiga bo'lish kerak

$$n = \frac{S}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{\vartheta}{v}$$

$$n = \frac{Sv}{\vartheta} = \frac{10^5 \cdot 6 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^3 = 2000 \text{ ta}$$

Javob: E)

14. Konturda 6 MGs chastotali radioto'lqin hosil bo'lmoqda. To'lqin tarqalish yo'nalishidagi 100 km masofada neclita to'lqin uzunligi joylashadi?

A) 2500 B) 2000 C) 1800 D) 1500 E) 1000

Berilgan:

$$v = 6 \text{ MGs} = 6 \cdot 10^6 \text{ Gs}$$

$$S = 100 \text{ km} = 10^5 \text{ m}$$

$$\vartheta = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$n = ?$

Yechilishi:

$$n = \frac{S}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{\vartheta}{v}$$

$$n = \frac{Sv}{\vartheta} = \frac{10^5 \cdot 6 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^3 = 2000 \text{ ta}$$

Javob: A)



V BOBGA DOIR TESTLAR

1. Tebranish konturidagi tebranishlar davri ifodasini toping.

- A) $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ B) $T = \sqrt{2\pi/\omega}$
 C) $T = 2\pi\sqrt{LC}$ D) $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ E) $T = \sqrt{t/n}$

2. Ideal tebranishlar konturida hosil bo'ladigan tebranishlarning siklik chastotasi formulasini ko'rsating.

- A) $\omega = \sqrt{LC}$ B) $\omega = \sqrt{L/C}$ C) $\omega = \sqrt{C/L}$
 D) $\omega = LC$ E) $\omega = 1/\sqrt{LC}$

3. Tebranishlar konturidagi tebranishlar davri qanday hollarda oshadi:

1) elektr sig'imi oshganda; 2) elektr sig'imi kamayganda;

3) induktivlik oshganda; 4) induktivlik kamayganda?

- A) 2; 3 B) 2; 4 C) 1; 4 D) 1; 3. E) 4

4. Tebranishlar konturi induktivligi 4 marta oshirilsa, konturdagi tebranishlar chastotasi qanday o'zgaradi?

- A) o'zgarmaydi B) 4 marta kamayadi C) 4 marta ortadi.
 D) 2 marta kamayadi E) 2 marta ortadi.

5. Tebranishlar konturining induktivligini va sig'imini 4 marta oshirsak, konturdagi tebranishlar davri qanday o'zgaradi?

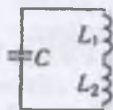
- A) o'zgarmay qoladi. B) 4 marta kamayadi. C) 16 marta oshadi.
 D) 16 marta kamayadi. E) 4 marta oshadi.

6. Tebranishlar konturidagi induktivlik 2 marta kamaytirilib, kondensator sig'imi 8 marta oshirilsa, erkin elektromagnit tebranishlar chastotasi qanday o'zgaradi?

- A) 2 marta kamayadi. B) 2 marta oshadi. C) 4 marta kamayadi.
 D) 4 marta oshadi. E) 16 marta oshadi.

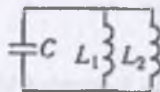
7. Chizmada tasvirlangan konturdagi elektromagnit tebranishlar davrini toping.

- A) $T = 2\pi\sqrt{2(L_1 + L_2)C}$ B) $T = 2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C/2}$
 C) $T = 2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$ D) $T = 4\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$
 E) $T = 2\pi\sqrt{|L_1 - L_2|C}$



8. Chizmada tasvirlangan konturdagi elektromagnit tebranishlar davrini toping.

- A) $T = 2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$ B) $T = 2\pi\sqrt{\frac{2L_1L_2C}{(L_1 + L_2)}}$
 C) $T = 2\pi\sqrt{\frac{L_1L_2C}{(L_1 + L_2)}}$ D) $T = 2\pi\sqrt{|L_1 - L_2|C}$
 E) $T = 4\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$



9. Tok kuchining o'zgarish qonuni $I = 0,3 \cos(100\pi t + \pi/2)$ ko'rinishga ega. Shu tokning o'zgarish davrini (Kl) aniqlang.

- A) 1 B) 0,3 C) 0,03 D) 0,02 E) 0,01

10. Tebranish konturidagi zaryadning o'zgarish qonuni $q = 10^{-7} \cos 10^6 t$ (Kl) ko'rinishga ega. Konturdagi tokning maksimal qiymatini toping (mA).

- A) 1 B) 5 C) 10 D) 100 E) 1000

11. Konturda zaryad $q = 10^{-3} \cos 100\pi t$ (Kl) qonun bo'yicha tebranadi. Tok kuchining amplituda qiymati qanday (mA)?

- A) 0,1 B) 1 C) 3,14 D) 31,4 E) 314.

12. Zaryadlangan kondensator induktivlik g'altagiga ulangandan so'ng, hosil bo'ladigan erkin tebranishlarning $1/6$ davri o'tgan paytda kondensator energiyasi necha marta kamayadi? (G'altakning aktiv qarshiligi yo'q).

- A) 6 B) 4 C) 3 D) 2

13. Yuzi $0,05 \text{ m}^2$ bo'lgan simli halqa, induksiyasi 1 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik bo'lgan o'q atrofida 5 Gs chastota bilan aylanaai. Halqada hosil bo'lgan induksion EYuK ning amplituda qiymati qanday (V)?

- A) 1,57 B) 2,5 C) 25 D) 31,4 E) 62,8

14. O'zgaruvchan tok generatorining rotori bir jinsli magnit naydonda aylanmoqda. Agar rotorning aylanish chastorasi 4 marta orttirilsa, induksiya EYuK amplitudasi necha marta ortadi?

- A) o'zgarmaydi. B) 2 C) 4 D) 8 E) 16

15. O'zgaruvchan tok zanjiriga faqat aktiv qarshilikka ega bo'lgan rezistor ulangan. Kuchlanish va tok kuchi orasidagi faza farqi nimaga teng?

- A) π B) $\pi/3$ C) 0 D) $\pi/2$

16. Kondensator 700 V kuchlanishga mo'ljallangan. Bu kondensatorni samarador qiymati ko'pi bilan qanday bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanish tarmog'iga ulash mumkin (V)?

- A) 350 B) 490 C) 500 D) 700 E) 980

17. O'zgaruvchan tokning siklik chastotasi qanday bo'lganda, 200 nF sig'imli kondensatorning sig'im qarshiligi $1 \text{ k}\Omega$ bo'ladi (s^{-1})?

- A) 200 B) 500 C) 2500 D) 5000

18. O'zgaruvchan tok tarmog'iga ikkita bir xil kondensator parallel ulangandagi tok kuchi I_1 , va ketma-ket ulangandagi tok kuchi I_2 orasidagi munosabatni aniqlang.

- A) $I_2 = 4I_1$ B) $I_2 = 2I_1$ C) $I_2 = I_1$ D) $I_1 = 4I_2$

19. Tebranish chastotasi ω bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga C sig'imli kondensator, tebranish chastotasi 5ω bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga esa sig'imi $C/2$ bo'lgan kondensator ulangan. Agar zanjirlardagi kuchlanishlar teng bo'lsa, birinchi zanjirdagi tok kuchini ikkinchi zanjirdagi tok kuchiga nisbati qanday bo'ladi?

- A) 0,4 B) 2,5 C) $2/5$ D) $\sqrt{5/2}$

20. Induktivligi $0,2 \text{ H}$ bo'lgan g'altakka chastotasi 50 Hz , kuchlanishining samarador qiymati 220 V bo'lgan o'zgaruvchan tok ulangan. Tok kuchining samarador qiymatini toping (A). G'altakning aktiv qarshiligi yo'q.
A) 0,7 B) 3,5 C) 7 D) 14
21. G'altak uchlariga ulangan voltmetr $31,4 \text{ V}$ ni, ampermetr 1 A ni ko'rsatsa, g'altakning induktivligi necha genri? Tok chastotasi 50 Hz . G'altakning aktiv qarshiligi yo'q.
A) 10 B) 0,4 C) 0,1 D) 0,01
22. Sig'imi $100 \mu\text{F}$ bo'lgan kondensator, induktivligi 200 mH bo'lgan g'altak va qarshiligi 60Ω bo'lgan reostat ketma-ket ulangan zanjirdagi tokning o'zgarish qonuni $I = 8 \sin 100t$ ko'rinishga ega. Zanjirning to'la qarshiligi necha Ω ?
A) 100 B) 360 C) 6400 D) 80
23. Induktiv qarshiligi 20Ω bo'lgan g'altak, sig'im qarshiligi 20Ω bo'lgan kondensator va aktiv qarshiligi 10Ω bo'lgan rezistor kuchlanishning amplituda qiymati 300 V bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan. Rezonans paytida zanjirdagi tok kuchining amplituda qiymati qanday bo'ladi (A)?
A) 30 B) 10 C) 12 D) 15
24. O'zgaruvchan tok zanjiriga rezistor va kondensator ketma-ket ulangan. Rezistorga ulangan voltmetr 60 V ni, kondensator uchlariga ulangan voltmetr 80 V ni ko'rsatsa, tarmoqdagi umumiy kuchlanish qanday bo'ladi (V)?
A) 20 B) 60 C) 80 D) 100
25. O'zgaruvchan tok zanjiri 30 Om qarshilikli rezistordan, 20 Om induktiv qarshilikli g'altakdan va 10 Om , sig'im qarshilikli kondensatordan iborat. Agar zanjirdan $2,5 \text{ A}$ tok o'tayotgan bo'lsa, 4 s da undan ajralib chiqqan issiqlik miqdori necha J bo'ladi?
A) 500 B) 750 C) 1500 D) 780 E) 1000
26. Transformatorning birinchi chulg'amiga 220 V kuchlanish berildi. Agar transformatsiyalash ko'effitsienti $0,8$ bo'lsa, ikkinchi chulg'amdagi kuchlanish qanday bo'ladi (V)?
A) 364 B) 275 C) 220 D) 176
27. Birinchi chulg'amida 600 ta o'rami bo'lgan transformator 220 V kuchlanishni 880 V gacha ko'tarib berayapti. Transformatsiyalash ko'effitsientini va ikkinchi chulg'amda o'ramlar sonini aniqlang.
A) 4; 2400 B) 4; 150 C) 0,25; 2400
D) 0,25; 150 E) 4; 300
28. Transformatorning birlamchi chulg'amidagi kuchlanish 200 V , tok kuchi $0,5 \text{ A}$, ikkinchi chulg'amida 38 V va $2,5 \text{ A}$ bo'lsa, transformatorning FIK necha foiz?
A) 70 B) 95 C) 80 D) 86
29. Vakuumdagi 1 m kesmaga monoxromatik nurlanish chastotasi $6 \cdot 10^{14} \text{ Gs}$ bo'lgan nechta to'lqin uzunligi joylashadi?
A) $2 \cdot 10^7$ B) $2 \cdot 10^6$ C) $3 \cdot 10^7$ D) $3 \cdot 10^8$ E) $6 \cdot 10^8$

30. Vakuumba tarqalayotgan, to'liq uzunligi 30 sm bo'lgan elektromagnit to'liqning tebranish chastotasi necha gers?

- A) $1 \cdot 10^9$ B) $1,5 \cdot 10^9$ C) $3 \cdot 10^9$ D) $1 \cdot 10^8$ E) $1,5 \cdot 10^8$

31. Agar vakumda tarqalayotgan elektromagnit to'liq tarkibidagi magnit maydon induksiyasining tebranish chastotasi 10^7Gs bo'lsa, elektr maydon kuchlanganligining tebranish davri qanday (ns) bo'ladi?

- A) 300 B) 100 C) 10 D) 7 E) 3

32. Radiopriyomnik konturi 50 m to'liq uzunlikka sozlangan, konturni 25 m to'liq uzunlikka sozlash uchun g'altak induktivligini qanday o'zgartirish kerak?

- A) 2 marta kamaytirish B) 4 marta orttirish
C) 4 marta kamaytirish D) 2 marta orttirish

33. Radiouzatkich konturining sig'imi 240 dan 60 pF gacha kamaydi. Tarqalayotgan to'liqning induktivligi qanday o'zgaradi? Induktivlik bir xil.

- A) $\sqrt{2}$ marta kamayadi B) 2 marta ortadi C) 4 marta kamayadi
D) 4 marta ortadi E) 2 marta kamayadi

34. Agar radiopriyomnik tebranish konturidagi tok kuchining o'zgarish qonuni $i = 10^{-6} \sin 2 \cdot 10^6 \pi t$ (A) ko'rinishda bo'lsa, u qanday to'liq uzunlikka moslangan (m)?

- A) 1800 B) 1200 C) 600 D) 300 E) 200



V BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Sig'imi $100\text{ }\mu\text{F}$ bo'lgan kondensator va induktivligi $10\text{ }\mu\text{H}$ bo'lgan induktivlik g'altagidan tashkil topgan tebranish konturida 1 min da nechta elektr tebranishlari yuzaga keladi? ($\pi^2=10$).

2. Tebranish konturida davri 1 ms bo'lgan tebranish hosil qilish uchun induktivligi 20 mH bo'lgan g'altakka qanday sig'imli (μF) kondensator ulash kerak? $\pi^2=10$.

3. Ideal tebranishlar konturidagi kondensatorning sig'imi $4\text{ }\mu\text{F}$, tebranishlarning siklik chastotasi 500 rad/s bo'lsa, g'altakning induktivligi necha genri?

4. Tebranishlar konturidagi zaryadning maksimal qiymati 10^{-9} C , erkin tebranishlar davri $3,14\text{ }\mu\text{s}$. Konturdagi tok kuchining amplituda qiymati qanday (mA)?

5. Tebranishlar konturidagi tok kuchining maksimal qiymati $3,14\text{ mA}$, tebranishlar davri $4\text{ }\mu\text{s}$ bo'lsa, kondensator zaryadining maksimal qiymati qanday (nC)?

6. Tebranishlar konturi kondensatori qoplamalaridagi zaryadning amplituda qiymati $2,5 \cdot 10^{-6}\text{ C}$, tokning amplituda qiymati esa $3,14\text{ mA}$. Konturdagi elektromagnit tebranishlar chastotasi qanday?

7. Elektr zanjir qisqichlaridagi kuchlanish tebranishlari tenglamasini tuzing. Bunda kuchlanish tebranishlari amplitudasi 150 V , davri 10^{-2} s , boshlang'ich faza nolga teng bo'lib, $t=0$ momentda kuchlanish nolga teng bo'lgan deb hisoblang.

8. Kuchlanish $U = U_0 \sin(\omega t + \pi/12)$ (V) qonunga binoan o'zgaradi. Agar $t=T/24$ vaqt momentidagi kuchlanish 50 V bo'lsa, kuchlanishning amplituda qiymati qanday (V)?

9. Tebranish konturidagi tok $I = 0,01 \cos 1000t$ qonun bo'yicha o'zgaradi. undagi kondensatorning sig'imi $25 \cdot 10^{-5}\text{ F}$ bo'lsa, konturning induktivligi qanday (mH)?

10. Tebranish konturida tok kuchi $I = 0,01 \cos 1000t$ (A) qonunga binoan o'zgarmoqda. Tebranish konturi kondensatorining sigimi $25 \cdot 10^{-5}$ F bo'lsa, induktivligi qanday (Gn)?
11. Elektr generator rotorining uzunligi 7 m, diametri 1,25 m, aylanish chastotasi 3000 ayl/min. Agar magnit maydon induksiyasi 2 Tl bo'lsa, stator chulg'amining bir o'ramida hosil bo'lgan induksion EYuK ning amplituda qiymati qanday (V)?
12. Qarshiligi 1 Om bo'lgan sim ramka bir jinsli magnit maydonda aylantirilganda, ramkani kesib o'tuvchi magnit oqim $\Phi = 0,1 \cos 60t$ (Vb) qonun bo'yicha o'zgaradi. Ramkada hosil bo'ladigan tokning maksimal qiymati necha amper bo'ladi?
13. Generator zanjirga 4,35 kVt quvvat beradi. Tok kuchining amplitudasi 50 A, generator qisqichlaridagi kuchlanish amplitudasi 200 V bo'lsa, tok kuchi bilan kuchlanish orasidagi fazalar farqi qanday?
14. Tok zanjirida kuchlanish $U = 400 \sin 100\pi t$ (V) qonun bo'yicha o'zgaradi. Qarshiligi 5 Om bo'lgan rezistordagi tok kuchining amplituda qiymati qanday (A)?
15. O'zgaruvchan tok tarmog'ining voltmeter bilan o'lchanadigan kuchlanishi 220 V bo'lsa, kuchlanishning amplituda qiymati qanday (V)?
16. Tok chastotasi 1000 Hz bo'lganda, induktivligi 0,1 H bo'lgan g'altakning reaktiv qarshiligi nimaga teng bo'ladi (Ω)?
17. O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan asbob induktivligi L ga teng bo'lgan g'altakdan iborat. Agar tokning siklik chastotasi ω ikki marta ortganda, asbobning qarshiligi $\sqrt{3}$ marta ortsa, uning aktiv qarshiligi qanday?
18. O'zgaruvchan tok zanjirida induktivligi 50 mH bo'lgan g'altak va 20 μ F sig'imli kondensator ketma-ket ulangan. zanjirda rezonans ro'y beradigan siklik chastotani (rad/s) toping.
19. Siklik (doiraviy) chastotasi 300 rad/s bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga qarshiligi 4 Ω bo'lgan rezistor va induktivligi 10 mH bo'lgan g'altak ketma-ket ulangan. Zanjirdan o'tayotgan tok kuchi amplitudasi 50 A ga teng bo'lsa, zanjir uchlaridagi kuchlanishning amplituda qiymati qanday (V)?
20. Siklik (doiraviy) chastotasi 10⁴ rad/s bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga qarshiligi 100 Om. bo'lgan rezistor va sig'imi 1 mkF bo'lgan kondensator ketma-ket ulangan. Zanjirdagi tashqi kuchlanish amplitudasi 300 V. Zanjirdan o'tayotgan tok kuchi amplitudasi qanday (A)?
21. Transformatorning birlamchi chulg'amida 840 ta o'ram bor. Transformatsiya koeffitsienti 4,2 ga teng bo'lsa, ikkinchi chulg'amda nechta o'ram bor?
22. Vakuumdagi 0,5 m kesmaga monoxromatik nurlanish to'liqinidan 2 10⁶ ta joylashtirish uchun bu nurlarning chastotasi necha gers bo'lishi kerak?
23. Agar to'liqin uzunligi 1884 m bo'lgan radioto'liqinga moslangan tebranish konturidagi induktivlik 2 mH bo'lsa, undagi kondensator sig'imi qanday (pF)?

OPTIKA

Optika – elektromagnit to'liqlarining inson ko'zi sezadigan qismini o'rganuvchi fizikaning bir bo'limidir. Elektromagnit to'liqlari radioto'liqlar, mikroto'liqlar, infraqizil nurlar, oq yorug'lik, ultrabinafsha nurlar, Rentgen nurlari va gamma nurlardan tashkil topgan bo'lib, shulardan to'liqin uzunligi $\lambda = 400 - 760 \text{ nm}$ bo'lgan nurlar oq yorug'lik deb ataladi. Oq yorug'lik inson ko'ziga tushganda unda ko'rish tuyg'usi hosil qiladi. Optika bo'limida ana shu oq yorug'lik, uning xususiyatlari, turli moddalar bilan ta'siri va shu bilan bog'liq turli qonunlar o'rganiladi.

Ushbu darslikda elektrodinamika asoslari bo'limini 4 qismga bo'lib o'rganamiz:

- Fotometriya asoslari
- Geometrik optika
- Fizik optika (yoki to'liqin optikasi)
- Yorug'likning kvant tabiati (yoki kvant fizikasi asoslari)



Fotometriya - yorug'lik energiyasining o'lchash usullarini o'rganuvchi optikaning bir bo'limidir. Fotometriya yorug'likning ichki tabiatiga e'tibor bermasdan, faqat yorug'lik manbalari va yoritilgan sirtlarni energetik jihatdan o'rganadi. Bunda fazoviy burchak, yorug'lik oqimi, yorug'lik kuchi, yoritilganlik, ravshanlik kabi yangi tushunchalar o'rganiladi. Inson miyasining psixofizialogik xususiyati, ya'ni ko'rish tuyg'usi bilan baholanadigan yangi kattalik kiritiladi.



§ 34. YORUG'LIK VA UNING MANBALARI. YORUG'LIK OQIMI VA YORUG'LIK KUCHI.

Yorug'lik va uning manbalari:

Qadimgi olimlarning yorug'lik to'g'risidagi tasavvurlari juda sodda edi. Ular "Ko'zdan juda kichik maxsus paypaslagichlar chiqadi va narsalarni borib paypaslaganlarida ko'rish tuyg'usi hosil bo'ladi" deb hisoblaganlar. Hozirda esa yorug'lik ko'zimizga tushganda miyada ko'rish tuyg'usi hosil bo'lishi natijasida narsalarni ko'rishimiz hech kimga sir emas. Agar jism biror yorug'lik manbaidan yoki biror sirtidan ko'zimizga tushmas ekan, biz manbani va narsalarni ko'rishimiz mumkin emas.

Yorug'likning tabiati qanday degan savolga javob tariqasida XII asrda deyarli bir vaqtda bir-biriga mutlaqo zid bo'lgan ikki nazariya paydo bo'ldi. Bu nazariyalardan biri Nyuton nomi bilan, ikkinchisi esa Gyugens nomi bilan bog'liq edi. Nyuton yorug'likning korpuskulyar nazariyasi ijodchisi edi. Uning nazariyasiga ko'ra yorug'lik – manbadan har tarafga sochiluvchi korpuskulalar (zarralar) dan iborat. Gyugensning tasavvuriga ko'ra esa hamma narsani, olamni qamragan va barcha jismlarga singib kirgan alohida faraziy *efir* deb nomlangan elastik muhit mavjud bo'lib, yorug'lik ana shu efirda tarqaladi (xuddi mexanik to'liqlar elastik muhitda tarqalgani kabi). Ikkala nazariya ham uzoq vaqt bir-birining ustidan g'olib chiqa olmadi, faqat Nyutonning obro'sigina ko'pchilik olimlarni o'z tomonga og'dirishga sabab bo'ldi. Yorug'likning to'g'ri chiziqli bo'ylab tarqalishi va bunda aniq soyalar hosil bo'lishini korpuskulyar nazariya yaxshi tushuntirib bera oldi. Ammo ikkita yorug'lik dastasi kesishganda ular bir-biriga xalaqit bermasdan va sochilmasdan to'g'ri chiziqdan og'ishmasligi sababini to'liqlar nazariya yaxshi tushuntirib bera oldi. XX asrning boshlariga kelibgina yorug'likning asl tabiati, *korpuskulyar-to'liqlar dualizmi* yaratildi. Unga ko'ra yorug'lik to'liqlar va zarra xususiyatlarini o'zida jamlagan materiyaning bir ko'rinishidir.

Hozirgi zamonaviy tasavvurlarga ko'ra elektromagnit nurlanishlari juda keng diapazonda bo'lib, bu nurlanishlarning inson ko'zi ko'radigan qismi yorug'lik deb yuritiladi. Yorug'likni ba'zida ko'rinadigan nurlar yoki oq yorug'lik deb ham atashadi.

Yorug'lik nurlanishi elektromagnit nurlanishning ko'rish tuyg'usi bilan baholanadigan qismini tashkil qiladi.

Zamonaviy tasavvurlarga ko'ra biror temperaturadagi har qanday jism o'zidan elektromagnit nurlari chiqaradi, va bu nurlarni past temperaturalarda ko'rmaymiz. Jismni isitgan sari qizarib borishini bilamiz. Demak, har qanday isitilgan jism yorug'lik manbai bo'lishi mumkin. Yorug'lik manbalariga ko'plab misollar keltirish mumkin. Masalan, pechka, plita, sham, elektrolampa, Quyosh, Oy va yulduzlar.

Nuqtaviy manba:

Yorug'lik manbalari odatda barcha yo'nalishlar bo'ylab bir tekis yorug'lik chiqarmaydi. Agar manbaning o'lchami yorug'lik ta'siri baholanayotgan masofadan ancha kichik bo'lsa, bunday yorug'lik manbasini **nuqtaviy manba** deyish mumkin. Undan tashqari nuqtaviy manbalar barcha yo'nalishlar bo'yicha bir tekis yorug'lik tarqatadi deb hisoblanadi. Masalan, yulduzlar bizdan juda olisda bo'lgani tufayli o'lchamlari nihoyatda katta bo'lishiga qarmasdan nuqtaviy manbaning eng yaxshi modelidir. Nuqtaviy manba ham xuddi fizikada qa'bul qilingan boshqa (moddiy nuqta, ideal gaz, absolyut qattiq jism, absolyut qora jism) modellari kabi ideallashtirilgan modeldir.

Yorug'lik manbaidan kuzatilayotgan nuqtagacha masofa ortib borgan sari manba nuqtaviy manbaga yaqinlashib boradi. Agar kuzatilayotgan nuqtagacha masofa manba o'lchamlaridan 10 martadan ko'proq ortiq bo'lsa, manbani nuqtaviy deb hisob-kitob qilish ishni osonlashtiradi va yo'l qo'yilgan xatolik uncha katta bo'lmaydi. Masalan, 25sm radiusli yorug'lik tarqatuvchi sharni nuqtaviy deb faraz qilsak, shar sirtidan 50 sm masofadagi nuqta uchun xatolik 25%, 2m masofadagi nuqta uchun 1,5%, 5m masofadagi nuqta uchun esa 0,25% dan oshmaydi.

Fazoviy burchak:

Devordan shakli istalgancha qilib yuzacha chizaylik, va bu yuzachani chegaralovchi egri chiziq nuqtalarini yuzachadan uzoqroqda joylashgan O nuqta bilan tutashtiraylik. Bu chiziqlar fazoda konus shaklidagi soha hosil qiladi. Fazoning bunday sohasini **fazoviy burchak** deb ataladi va Ω bilan belgilanadi (34.1,a-rasm). Markazi O nuqtada bo'lgan R radiusli sfera bor deb faraz qilaylik. Fazoviy Ω burchak sferadan yuzasi S bo'lgan segment ajratadi.



34.1-rasm

Segment yuzining sfera radiusi kvadratiga nisbatiga teng kattalik fazoviy burchakning kattaligini beradi (34.1,b-rasm).

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

Agar S yuza sfera markazidan Ω fazoviy burchak ostida ko'rinsa, S yuzani tutib turuvchi konus ichida olingan ixtiyoriy $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ yuzalar ham sfera markazidan o'sha Ω fazoviy burchak ostida ko'rinadi (34.1,c-rasm).

Fazoviy burchak yassi burchakdan farqli ravishda steradian(sr)larda o'lchanadi.

Sferadan radius kvadratiga teng yuza ajratuvchi fazoviy burchak $1sr$ fazoviy burchak deyiladi.

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{1M^2}{1M^2} = 1 [sr]$$

Nuqta atrofidagi butun fazoni qamrovchi to'liq fazoviy burchak quyidagicha bo'ladi:

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi [sr]$$

Yorug'lik oqimi:

Oldingi boblarda biz tebranish konturi yordamida radioto'lqinlar hosil qilinishini ko'rgan edik. Radioto'lqin uzun to'lqinli elektromagnit to'lqinidir. Hozirgi zamonaviy hisob-kitoblarga binoan elektromagnit to'lqinlarini har qanday qizigan jism nurlashi mumkin ekan.

Boshqa to'lqinlar kabi elektromagnit nurlanish ham biror muhitda tarqalayotganida bir nuqtadan boshqa nuqtaga energiya olib o'tadi. Agar elektromagnit to'lqinlar manbaidan biror masofada ixtiyoriy yuzachani fikran ajratsak, bu yuzachadan vaqt birligida biror nurlanish energiyasi o'tadi.

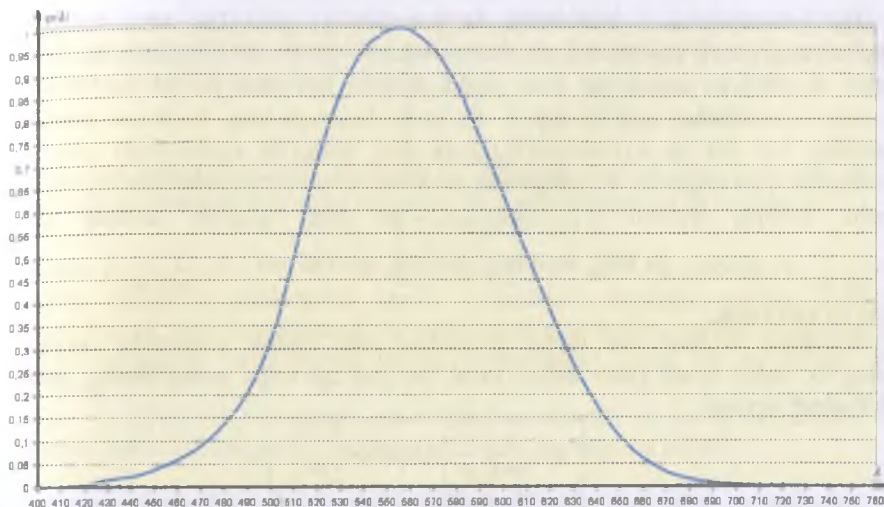
Biror sirtidan vaqt birligi ichida o'tgan elektromagnit to'lqin energiyasiga *elektromagnit nurlanish oqimi* deyiladi.

$$\Phi = \frac{W}{t} \quad [J/s = Vt]$$

Elektromagnit nurlanish oqimi quvvatning o'lchamiga egadir. Bu yerda W – sirt orqali o'tuvchi to'lqin uzunligi $0 \leq \lambda \leq \infty$ oraliqda bo'lgan barcha elektromagnit to'lqinlar (radioto'lqinlar, mikroto'lqinlar, infraqizil nurlar, oq yorug'lik, ultrabinafsha nurlar, Rentgen nurlari va gamma nurlar) energiyasidir.

Optikada bizni sirt orqali o'tuvchi to'liq elektromagnit to'lqin energiyasi emas, balki bu elektromagnit to'lqinlarning bevosita ko'zga ta'sir etadigan qismi qiziqtiradi. To'lqin uzunligi $\lambda = 400 - 760 \text{ nm}$ oraliqda bo'lgan nurlar oq yorug'lik (ko'rinadigan nurlar) deb ataladi. Oq yorug'lik inson ko'ziga tushganda unda ko'rish tuyg'usi hosil qiladi. Lekin, ko'zga ko'rinuvchi nurlarning barchasi bir xil ko'rish tuyg'usi hosil qilmaydi. Bizda oq yorug'likning har bir tor oraliqlari uchun bir xil quvvatga ega spektrlar olish imkoniyati bo'lsin. Bu spektrlar inson ko'ziga tushganida, ularning barchasi birdek sezgirlik uyg'otmas ekan. Shulardan $\lambda = 555 \text{ nm}$ ($\nu = 540 \text{ TGS}$) to'lqin uzunlikdagi yashil nurlarni inson ko'zi juda yaxshi sezar ekan.

Keling, quvvati $P = 1 \text{ Vt}$ bo'lgan lampa faqat $\lambda = 555 \text{ nm}$ to'lqin uzunlikdagi yashil nurlar chiqaryapti deb faraz qilaylik. Ana shu yashil nurlar ko'zda hosil qilgandek ko'rish tuyg'usini hosil qilish uchun $\lambda = 610 \text{ nm}$ uzunlikdagi qizg'ish to'lqin chiqaruvchi lampaning quvvati $P = 2 \text{ Vt}$, $\lambda = 495 \text{ nm}$ uzunlikdagi havorang to'lqin chiqaruvchi lampaning quvvati esa $P = 4 \text{ Vt}$ bo'lishi kerak ekan. Ko'z sezgirligining to'lqin uzunligiga bog'liqligini baholash maqsadida tajribalarga asoslangan holda yangi sezgirlik koeffitsienti $\varphi(\lambda)$ degan kattalik kirgizamiz. Sezgirlik koeffitsientining qiymati eng yaxshi ko'rinuvchi yashil ($\lambda = 555 \text{ nm}$) nur uchun $\varphi(\lambda) = 1$ bo'lib, qolgan barcha nurlar uchun $\varphi(\lambda) < 1$ bo'ladi, jumladan $\lambda = 610 \text{ nm}$ uzunlikdagi qizg'ish to'lqin uchun $\varphi(\lambda) = 0,5$ ga, $\lambda = 495 \text{ nm}$ uzunlikdagi havorang to'lqin uchun $\varphi(\lambda) = 0,25$ ga teng bo'ladi. Sezgirlik koeffitsientining to'lqin uzunligiga bog'lanish grafigi *sezgirlik egri chizig'i* deyiladi. Sezgirlik egri chizig'i 34.2-rasmda tasvirlangan bo'lib, son qiymatlari esa 1-jadvalda berilgan.



34.2-rasm

34.1-jadval

λ, nm	φ_λ	λ, nm	φ_λ	λ, nm	φ_λ	λ, nm	φ_λ
400	0,0004	495	0,260	590	0,757	685	0,0126
405	0,0007	500	0,323	595	0,694	690	0,0082
410	0,0012	505	0,408	600	0,631	695	0,0060
415	0,0024	510	0,503	605	0,567	700	0,0041
420	0,004	515	0,605	610	0,503	705	0,0031
425	0,009	520	0,710	615	0,442	710	0,0021
430	0,016	525	0,786	620	0,381	715	0,00155
435	0,019	530	0,862	625	0,343	720	0,00105
440	0,023	535	0,914	630	0,265	725	0,00078
445	0,030	540	0,954	635	0,220	730	0,00052
450	0,038	545	0,978	640	0,175	735	0,00038
455	0,047	550	0,995	645	0,140	740	0,00025
460	0,06	555	1,000	650	0,107	745	0,00018
465	0,074	560	0,995	655	0,083	750	0,00012
470	0,091	565	0,977	660	0,061	755	0,00009
475	0,113	570	0,952	665	0,046	760	0,00006
480	0,139	575	0,918	670	0,032	765	0,00003
485	0,170	580	0,870	675	0,024	770	0,00001
490	0,208	585	0,816	680	0,017		

Yorug'lik energiyasini baholash uchun alohida kattalik – *yorug'lik oqimi* kiritilgan.

Biror sirt orqali vaqt birligida o'tadigan va ko'rish sezgisi bilan baholanadigan yorug'lik energiyasiga yorug'lik oqimi deb ataladi.

Boshqacha aytganda, yorug'lik oqimi yorug'lik nurlarining biz ko'zimiz bilan baholaydigan quvvatidir. Yorug'lik oqimi biror asbob bilan qayd etiladigan yoki o'lchanadigan kattalik bo'lmasdan, balki inson miyasining psixofizialogik xususiyati, ya'ni ko'rish tuyg'usi bilan baholanadigan kattalikdir. Shuning uchun ham bu kattalik quvvat birligi Vt larda emas, balki yangi kattalik *lyumen* (lm) larda o'lchanadi. Endi quvvat birligi Vt hamda yorug'lik oqimi birligi lm orasida bog'lanishni aniqlashimiz kerak.

Hisob-kitoblarning ko'rsatishicha ko'rinuvchanligi $\varphi(\lambda)=1$ ga teng bo'lgan tor diapozondagi yashil ($\lambda=555\text{ nm}$) nur dastasining quvvati $P=1\text{ Vt}$ bo'lganda, bu yorug'lik oqimi $\Phi=683\text{ lm}$ ga teng bo'lar ekan. Xuddi shunday quvvatlari bir xil $P=1\text{ Vt}$ bo'lgan $\lambda=610\text{ nm}$ uzunlikdagi qizg'ish nur $\Phi=0,5\cdot 683\text{ lm}=343,5\text{ lm}$ ga teng, $\lambda=495\text{ nm}$ uzunlikdagi havorang nur esa $\Phi=0,25\cdot 683\text{ lm}=170,75\text{ lm}$ ga teng yorug'lik oqimi hosil qilar ekan. Boshqacha qilib aytganda, $\Phi=1\text{ lm}$ ga teng aynan bir xil yorug'lik oqimi hosil qilish uchun yashil nurning quvvati $P=\frac{1}{683}\text{ Vt}=0,01464\text{ Vt}$ ga teng, qizg'ish nurning quvvati

$$P=\frac{1}{0,5}\cdot\frac{1}{683}\text{ Vt}=0,02928\text{ Vt}$$
 ga teng, havorang nurning quvvati esa $P=\frac{1}{0,25}\cdot\frac{1}{683}\text{ Vt}=0,05856\text{ Vt}$ ga

teng bo'lish kerak.

Maksimal ko'rinuvchan yashil ($\lambda=555\text{ nm}$) nur dastasi yordamida 1 lm ga teng yorug'lik oqimi hosil qilish uchun kerak bo'lgan quvvatga **yorug'likning mexanik ekvivalenti** deyiladi.

$$A=\frac{1}{683}\left[\frac{\text{Vt}}{\text{lm}}\right]=0,01464\left[\frac{\text{Vt}}{\text{lm}}\right]$$

Agar quvvati P bo'lgan yorug'lik manbai to'lqin uzunligi λ bo'lgan monoxromatik nurlar chiqarayotgan bo'lsa, bu yorug'likning oqimi quyidagicha bo'ladi:

$$\Phi=\varphi(\lambda)\cdot\frac{P}{A}=683\varphi(\lambda)\cdot P\quad [\text{lm}]$$

Quvvatlari $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ bo'lgan bitta joyda turgan yorug'lik manbalari mos ravishda uzunliklari $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ bo'lgan ko'rinuvchi monoxromatik to'lqinlar nurlayotgan bo'lsa, bu manbalar hosil qilgan natijaviy yorug'lik oqimi quyidagicha bo'ladi:

$$\Phi_{\text{nat}}=683(\varphi_1 P_1 + \varphi_2 P_2 + \varphi_3 P_3 + \dots + \varphi_n P_n) = 683 \sum_{i=1}^n \varphi_i P_i\quad [\text{lm}]$$

Tabiiy yorug'lik manbaining tarkibida $0 \leq \lambda \leq \infty$ oraliqda bo'lgan bo'lgan barcha elektromagnit to'lqinlar, shuningdek $\lambda=400-760\text{ nm}$ uzunlikdagi ko'rinuvchi nurlar ham bor. Tabiiy yorug'lik manbai hosil qilgan yorug'lik oqimini topish uchun ko'rinuvchi to'lqinlarni $d\lambda$ qalinlikdagi elementar tasmlarga bo'lamiz. Manbaining ixtiyoriy λ va $\lambda+d\lambda$ oraliqdagi qismining nurlanish qobiliyati $E_\lambda=\frac{\partial P}{\partial \lambda}$, uning sezgirlik koeffitsienti φ ,

elementar nurlanish quvvati $dP=E_\lambda d\lambda=\frac{\partial P}{\partial \lambda} d\lambda$ va elementar yorug'lik oqimi

$d\Phi=683\varphi dP=683\varphi\frac{\partial P}{\partial \lambda} d\lambda$ bo'lsin. Buni $\lambda=400-760\text{ nm}$ oraliqda integrallash orqali tabiiy yorug'lik manbai hosil qilgan to'la yorug'lik oqimini topish mumkin.

$$\Phi=\int_{400\text{ nm}}^{760\text{ nm}} d\Phi=683\int_{400\text{ nm}}^{760\text{ nm}} \varphi E_\lambda d\lambda=683\int_{400\text{ nm}}^{760\text{ nm}} \varphi \frac{\partial P}{\partial \lambda} d\lambda$$

Yorug'lik kuchi:

Real yorug'lik manbalari turli yo'nalishlarda turlicha oqim tarqatadi. Yorug'lik manbai chiqarayotgan yorug'lik oqimining nurlanish yo'nalishiga bog'liqligini xarakterlash uchun yorug'lik kuchi degan yangi kattalik kiritiladi.

O'lchamlari kichik bo'lgan manbaining yorug'lik kuchi shu manbaining berilgan yo'nalishda birlik fazoviy burchak ichida tarqatayotgan yorug'lik oqimiga miqdor jihatidan teng kattalikdir.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

Yorug'lik manbaining biror yo'nalishdagi yorug'lik kuchini aniqlashda juda kichik $d\Omega$ fazoviy burchakdagi elementar $d\Phi$ yorug'lik oqimi o'lchanada va hisoblanadi.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Tabiiy yorug'lik manbalarida barcha yo'nalishlar bo'yicha turlicha yorug'lik tarqaladi. Demak, turli yo'nalishlarda yorug'lik kuchi ham turlicha bo'ladi. Bundan keyin masalalar yechishda yorug'likning barcha yo'nalishdagi kuchi bir xil bo'ladi deb hisoblaymiz.

Agar yorug'lik manbasi barcha yo'nalish bo'yicha bir xil yorug'lik tarqatsa, bu manbaining butun fazo bo'yicha o'rtacha sferik kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}$$

SI sistemasida yorug'lik kuchining o'lchov birligi kandela bo'lib, bu asosiy o'lchov birligi hisoblanadi.

1-ta'rif: $\nu=540$ TGs (yoki $\lambda=555$ nm) chastotali monoxromatik nurlanish chiqarayotgan manbadan yorug'lik tarqalish yo'nalishida 1 st fazoviy burchakdan 1s. vaqtda 1/683 J yorug'lik energiyasi o'tsa, bu yorug'likning kuchi 1kd deb qabul qilingan.

2-ta'rif: Erigan platinaning qotish temperaturasida (2046,6 K) 1/60 sm² yassi sirtidan perpendikulyar ravishda hosil qiladigan yorug'lik kuchiga 1 kandela (kd) bo'ladi.

Demak, 1sr fazoviy burchak ichida 1lm yorug'lik oqimi tarqalayotgan bo'lsa, yorug'lik manbasining kuchi 1kd ga teng bo'ladi deyish mumkin.

1 Vt elektr quvvatiga to'g'ri kelgan yorug'lik oqimiga lampaning yorug'lik berishi deyiladi.

$$k = \frac{\Phi}{P}$$

yoki

$$k = \frac{\phi(\lambda)}{A} = 683 \cdot \phi(\lambda)$$

34.2-jadval

Quvvati, V_t	To'la yorug'lik oqimi, lm	Yorug'lik berishi, $\frac{lm}{V_t}$	Yorug'likning o'rtacha sferik kuchi, kd
15	124	8,25	10
25	225	9,00	18
40	380	9,50	30
60	645	10,75	51
100	1275	12,75	103
150	2175	14,50	173
200	3050	15,25	243
300	4875	16,25	388
500	8725	17,45	695
1000	19000	19,00	1530

Masalan, 100 Vt quvvatli elektrolampa 100 kd ga yaqin o'rtacha yorug'lik kuchiga ega bo'lib, lampaning atrofga beradigan yorug'lik oqimi $\Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 100 \text{ kd} = 1256 \text{ lm}$ ga teng bo'ladi. Yorug'lik berishi esa $k = 1256 \text{ lm} / 100 \text{ Vt} = 12,56 \text{ lm} / \text{Vt}$ ga teng bo'ladi. 34.2-jadvalda har xil quvvatga ega bo'lgan cho'g'lanma lampalarning yorug'lik berishi keltirilgan.

Cho'g'lanma lampalarning yorug'lik berishi juda past, shuningdek FIK ham juda past taxminan $\eta = 5-6\%$ dan oshmaydi. Sarflanayotgan elektr energiyasining katta qismini infraqizil nurlar, ya'ni issiqlik tarzida nurlaydi. Kunduzgi lampalarning yorug'lik berishi va FIK cho'g'lanma lampalarga qaraganda ancha yuqori bo'ladi. Kunduzgi lampalar sarflanayotgan elektr energiyasining asosiy qismini yorug'likka aylantirib beradi. Shuning uchun, kunduzgi lampalar cho'g'lanma lampalar kabi qizimaydi.



1. Yorug'lik va uning manbalari haqida so'zlab bering.
2. Fazoviy burchak nima? Uning o'lchov birligi va eng katta qiymati qanday?
3. Yorug'lik oqimi nima? Yorug'lik oqimi v elektromagnit nurlanish oqimining qanday farqi bor?
4. Yorug'likning mexanik ekvivalenti nima? To'la yorug'lik oqimi qanday aniqlanadi?
5. Yorug'lik kuchi deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o'lchov birligini yozing.
6. Nuqtaviy yorug'lik manbaining kuchi nimaga teng?
7. Yorug'lik kuchining 1kd kattaligiga ta'rif bering.
8. Yorug'lik lampalarining yorug'lik berishi deb nimaga aytiladi? Ularning FIK deb nimaga aytiladi?



§ 35. FOTOMETRIYA QONUNLARI

Yoritilganlik:

Qorong'u joyda odam buyumlarni ko'rmaydi. Har qanday buyumdan yorug'lik tarqalsagina u inson ko'ziga tushib uni ko'radi. Agar buyum o'zi yorug'lik tarqatmasa, boshqa yorug'lik manbaidan kelgan nurni qaytarganda uni ko'ramiz. Qaralayotgan jismga qanchalik ko'p yorug'lik oqimi tushsa, uning sirtidan ham shuncha ko'p yorug'lik oqimi qaytadi va shu jismni yaxshiroq ko'ramiz.

Yorug'lik manbai narsalarning sirtlarini bir tekis yoritmaydi. Masalan, stol ustiga osilgan lampa tufayli stolning hamma yuzasi bir tekisda yoritilmaydi. Chunki, stolning har xil nuqtalari lampaga nisbatan turli uzoqlikda joylashgan. Stolning chetlari eng xira yoritilgan bo'lib, lampa tagidagi nuqta esa yaqinligi tufayli eng kuchli yoritiladi.

Sirtga tushayotgan yorug'lik oqimi tekis taqsimlanganda, sirtning yoritilganligi shu sirtning birlik yuziga to'g'ri kelgan **yorug'lik oqimi** bilan o'lchanadi.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Agar sirt tekis yoritilmasa, uning turli nuqtalarida yoritilganlik ham turlicha bo'lib, har bir nuqta uchun elementar yuzacha dS va bu yuzachaga tushayotgan elementar yorug'lik oqimi $d\Phi$ o'lchanishi kerak bo'ladi. Unda elementar dS yuzachaning yoritilganligi

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

bo'ladi.

Agar 1m^2 yuzaga 1lm yorug'lik oqimi tekis tushsa, bu yuzaning yoritilganligi 1lk (*lyuks*)ga teng bo'ladi.

$$\frac{1\text{lm}}{1\text{m}^2} = 1\text{lk}$$

1lk yoritilganlikning katta-kichikligini chamalash uchun bir necha misollar keltiramiz. Tush paytida Quyosh nurlari Yerga tik tushayotganda $100\,000\text{lk}$ yoritilganlik hosil qiladi, tunda to'linoy $0,2\text{lk}$ yoritilganlik hosil qiladi, 1m balandlikda osilgan 100Vt quvvatli cho'g'lanma lampaning yoritilganligi 100lk ga teng bo'ladi. Quyidagi jadvalda ba'zi tabiiy va sun'iy yorug'lik manbalarining hosil qilgan yoritilganliklariga misollar keltirilgan.

35.1-jadval

Yoritish uchaskalari	Yoritilganlik, lk
Tushda Quyosh nurlari bilan yoritilganda	100 000
Suratga olish maydonchasidaga	10 000
Ochiq joyda bulutli kunda	1000
Nozik ishlar bajarilayotgan xonalarda	100 – 200
Yorug' xonada	100
Sinf va laboratoriya xonalarida	75
Kinoteatr ekranida	20 – 80
Yo'lak va zinlarda	15 gacha
Ko'chalar sun'iy yoritilganda	4 gacha
To'lin Oy tunida	0,2
Oy chiqmagan yulduzli osmonda	0,0003

Ravshanlik:

Kitob o'qiyotganda harflarni ko'ramiz va uni o'qiymiz. Oq qog'oz va undagi qora harflar sirtga tushayotgan yorug'lik nurlarini birday qaytarmadi. Oq qog'oz ko'proq qaytarish, qora harflar esa ko'proq yutish xususiyatiga ega. Ikkalasidan kelayotgan yorug'lik oqimlari turlicha bo'lgani uchun ham harflarni ko'ramiz. Juda mayda narsalarni ularning sirtlaridan kelayotgan yorug'lik oqimlari farqiga qarab ajratamiz.

Yorug'lik oqimiga bog'liq holda yorug'lik oqimini tarqatayotgan sirtning ayrim uchastkalarining turlicha ko'rinishini xarakterlochi kattalikka **ravshanlik** deyiladi.

Sirt tekis yoritilganda sirtning ravshanligi shu sirtning birlik yuzidan unga perpendikulyar yo'nalishda nurlanayotgan yorug'lik kuchi bilan o'lchanadi.

$$B = \frac{I}{S}$$

Agar tekis yoritilgan sirtning har 1m^2 yuzidan $1\text{k}\delta$ ga teng yorug'lik kuchi olinsa, sirtning ravshanligi 1nt (*nit*)ga teng bo'ladi.

$$\frac{1\text{k}\delta}{1\text{m}^2} = 1\text{nt}$$

1nt ravshanlik nisbatan kichik ravshanlik hisoblanib, agar nuqtaning ravshanligi 10^{-6}nt dan kam bo'lmasa, odam bu yorug' sirtini ko'ra oladi. Agar yorug' manbaning ravshanligi $1,6 \cdot 10^5\text{nt}$ dan ortiq bo'lsa, ko'zda og'riq seziladi va bunday sirtlarga qarashga tavsiya berilmaydi. Quyosh gardishi sirtining ravshanligi $1,5 \cdot 10^9\text{nt}$, Oy sirtining ravshanligi esa $2,5 \cdot 10^3\text{nt}$ ga teng. Yorug'lik kuchining ta'rifidan kelib chiqsak, platina qotayotganda

$1/60 \text{ sm}^2$ yuzasida tik ravishda yorug'lik chiqishi 1 kd bo'lishini e'tiborga olsak, bunda sirtning ravshanligi $B = \frac{1 \text{ kd}}{1/60 \text{ sm}^2} = 6 \cdot 10^5 \text{ nt}$ ga teng bo'lar ekan.

Quyidagi jadvalda yorug'lik manbalari hamda qaytaruvchi sirtlarning ravshanligi keltirilgan.

35.2-jadval

Manba, sirt	Ravshanlik, nt
Quyosh sirti	$1,5 \cdot 10^9$
Ko'mir krateri	$1,5 \cdot 10^8$
Cho'g'lanma lampaning metall tolasi	$1,5 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6$
To'g'ri quyosh nurlari ostidagi qor	$3 \cdot 10^4$
Kerosin lampasining alangasi	$1,5 \cdot 10^4$
Sham alangasi	$5 \cdot 10^3$
Musaffo zangori osmon	$4 \cdot 10^3$
Oy sirti	$2,5 \cdot 10^3$
Kinoteatrda ekran sirti	$5 - 20$
Oq qog'oz varag'i	$10 - 15$
Oy chiqmagan tundagi osmon	10^{-4}

Yoritilganlik qonunlari:

Yorug'lik kuchi I bo'lgan nuqtaviy yorug'lik manbai atrofida radiusi r bo'lgan sferik sirt chizaylik. Bunda sfera ichki qismining hamma nuqtalarida yoritilganlik bir xil bo'ladi va nurlar radius bo'yicha sfera sirtiga perpendikulyar holatda yo'naladi. Bunda yorug'lik nurlarining sfera sirtiga tushish burchagi nolga teng bo'ladi. Ushbu sharoitda sferaning ichki sirtidagi yoritilganlikni E_0 bilan, butun sferaning ichki yuzini S_{sh} bilan, to'la yorug'lik oqimini Φ_r bilan belgilasak, yoritilganlik formulasiga ko'ra

$$E_0 = \frac{\Phi_r}{S_{sh}}$$

bo'ladi. Bu yerda $S_{sh} = 4\pi r^2$, $\Phi_r = 4\pi I$ ekanligini bilgan holda $E_0 = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}$ ifodaga ega bo'lamiz, ya'ni

$$E_0 = \frac{I}{r^2}$$

bo'ladi.

Ushbu munosabat yoritilganlikning birinchi qonunining matematik ifodasidir.

Nurlar perpendikulyar tushayotganda sirtning yoritilganligi nuqtaviy yorug'lik kuchiga to'g'ri proporsional va manbadan yoritilgan sirtgacha bo'lgan masofaning kvadratiga teskari proporsional bo'ladi.

Endi yoritirilganlik nurlarning sirtga tushish burchagiga bog'liqligini ko'rib chiqaylik. Aytaulik yorug'lik nurlari Yer sirtiga tik tushayotgan bo'lsin. Yer sirtiga nisbatan α burchak tashkil qiluvchi $ABCD$ to'g'ri to'rtburchak shaklidagi qiya sirtning yoritilganligini topish so'ralgan bo'lsin. Bunda qiya sirt normali va yorug'lik nurlari ham α burchak tashkil qiladi. $ABCD$ to'rtburchakning gorizontaal sirtga proyeksiyasi ABC_1D_1 to'g'ri to'rtburchak bo'ladi.

Qiya $ABCD$ sirtning yoritilganligi

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{AB \cdot AD}$$

bo'ladi. Agar $ABCD$ sirtni olib tashlasak, yorug'lik nurlari ABC_1D_1 sirtga tik holda tushib uni yoritadi. Bunda yoritilganlik

$$E_0 = \frac{\Phi}{S_0} = \frac{\Phi}{AB \cdot AD_1}$$

bo'ladi. E va E_0 yoritilganliklar nisbati

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\Phi/(AB \cdot AD)}{\Phi/(AB \cdot AD_1)} = \frac{AD}{AD_1} = \cos \alpha$$

bo'ladi. Shunday qilib, yorug'lik nurlari sirtga qiya holatda tushganda sirtning yoritilganligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$E = E_0 \cos \alpha = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

Ushbu munosabat yoritilganlikning ikkinchi qonunining matematik ifodasidir.

Parallel nurlar bilan yoritilganda sirtning yoritilganligi shu sirtga tushayotgan nurlarning tushish burchagi kosinusiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

Yoritilganlikning ikkinchi qonunidan tushish burchagi kattalashganda sirtning yoritilganligi kamayadi degan xulosaga kelish mumkin. Qishda issiq, yozda sovuq bo'lish sababini ham shu orqali tushuntirish mumkin.



1. Yoritilganlik deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o'lchov birirligini yozing.
2. Ravshanlik deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o'lchov birirligini yozing.
3. Yoritilganlikning 1-qonunini ayting va formulasini yozing.
4. Yoritilganlikning 2-qonunini ayting va formulasini yozing.



VI BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Toshkent shahri $\varphi \approx 41^\circ$ shimoliy kenglikda joylashgan deb hisoblab, Toshkent shahrining tush vaqtida yozda va qishda yoritilganliklari necha marta farq qilishini aniqlang. Yer o'qining ekliptika o'qiga nisbatan og'ish burchagi $\delta \approx 23,5^\circ$ ga teng.

Berilgan

- $\varphi \approx 41^\circ$
 $\delta \approx 23,5^\circ$
 1) yozda
 2) qishda

Yechilishi

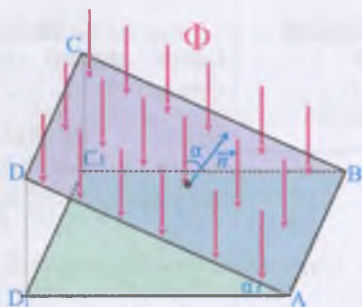
Yozda Quyosh nurlari Toshkent shahriga $\alpha_1 = \varphi - \delta = 41^\circ - 23,5^\circ = 17,5^\circ$ burchak ostida, qishda esa $\alpha_2 = \varphi + \delta = 41^\circ + 23,5^\circ = 64,5^\circ$ burchak ostida tushadi. Yerdan Quyoshgacha bo'lgan masofani r , Quyoshning yorug'lik kuchini esa I desak, yozdagi va qishdagi yoritilganliklar

$E_1 = \frac{I}{r^2} \cos \alpha_1$ va $E_2 = \frac{I}{r^2} \cos \alpha_2$ bo'ladi. Ularning nisbati esa

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} = \frac{\cos 17,5^\circ}{\cos 64,5^\circ} = \frac{0,9537}{0,4305} = 2,215 \text{ ga teng bo'ladi. Demak, yozda}$$

Toshkent shahriga qishdagiga nisbatan taxminan 2,2 marta ko'proq energiya tushar ekan.

2. Gorizontol sirtidan h balandlikda lampa osilgan. Lampa tagidan qancha ℓ masofadagi yoritilganlik lampa tagidagi yoritilganlikdan n marta kam bo'ladi.



35.1-rasm

Berilgan

$$\frac{E_1}{E_2} = n$$

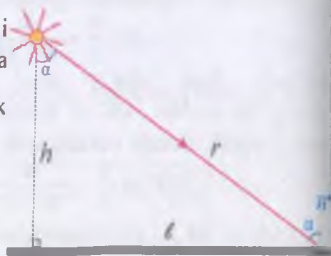
$$\ell - ?$$

Yechilishi

Lampa tagidagi yoritilganlik birinchi qonunga ko'ra $E_0 = \frac{I}{h^2}$ bo'ladi. Lampa tagidan ℓ masofada esa yoritilganlik ikkinchi qonunga ko'ra

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha = \frac{I}{r^2} \cdot \frac{h}{r} = \frac{I h}{r^3} = \frac{I h}{(h^2 + \ell^2)^{3/2}} =$$

$$= \frac{I}{h^2} \cdot \frac{h^3}{(h^2 + \ell^2)^{3/2}} = E_0 \cdot \frac{h^3}{(h^2 + \ell^2)^{3/2}}$$



bo'ladi. Masala shartiga ko'ra $\frac{E_2}{E_1} = n$ ekanini e'tiborga olsak, $\frac{(h^2 + \ell^2)^{3/2}}{h^3} = n$ ga teng bo'ladi.

Bundan so'ralgan kattalikni topa olamiz, ya'ni

$$(h^2 + \ell^2)^3 = n^2 h^6, \rightarrow h^2 + \ell^2 = \sqrt[n^2]{h^6}, \rightarrow \ell = \sqrt{\sqrt[n^2]{h^6} - h^2}$$

bo'ladi.

Javob: $\ell = \sqrt{\sqrt[n^2]{h^6} - h^2}$

3. Yorug'lik kuchi 300 kd bo'lgan manbadan 3 m uzoqlikda joylashgan va yuzi 15 sm^2 bo'lgan sirtga tik tushayotgan yorug'lik oqimini toping.

Berilgan

$$S = 15 \text{ sm}^2$$

$$r = 3 \text{ m}$$

$$I = 300 \text{ kd}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\Phi - ?$$

Yechilishi

Manbani radiusi 3 m bo'lgan sfera markazida joylashgan deb hisoblaymiz. S sirt sferik sirtning bir qismini tashkil etadi. U holda bunday sirtning yoritilganligi $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ bo'ladi. Ikkinchi tomonda

esa $E = \frac{\Phi}{S}$. Bu ifodalarning o'ng tomonlarini tenglashtirib, S sirtga tushayotgan yorug'lik oqimi uchun quyidagi munosabatni olamiz.

$$\Phi = \frac{I S}{r^2} \cos \alpha.$$

Hisoblashlar

natijasida

$$\Phi = \frac{300 \text{ kd} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}{9 \text{ m}^2} \cos 0^\circ = 0,05 \text{ lm javob chiqadi.}$$

Javob: 0,05 lm.



VI BOBGA DOIR TESTLAR

1. Fazoviy burchak deb ... ga aytiladi.

- A) Yuzaning radius kvadratiga ko'paytmasi
- B) Yuzaning radius kvadratiga nisbati
- C) Radiusning yuzaga nisbati
- D) Radius kvadrati va yuzaning yig'indisi

2. Fazoviy burchakning eng kattta qiymati nimaga teng?

- A) 2π
- B) 3π
- C) 4π
- D) 6π

3. 1lm yorug'lik oqimiga ta'rif bering.

- A) Quvvati $\frac{1}{683}V_l$ bo'lgan manba faqat to'liq uzunligi 555 nm bo'lgan yashil to'liq nurlasa, uning yorug'lik oqimi 1 lm ga teng bo'ladi.
- B) Quvvati $\frac{1}{683}V_l$ bo'lgan manba faqat to'liq uzunligi 760 nm bo'lgan qizil to'liq nurlasa, uning yorug'lik oqimi 1 lm ga teng bo'ladi.
- C) Quvvati $683V_l$ bo'lgan manba faqat to'liq uzunligi 555 nm bo'lgan yashil to'liq nurlasa, uning yorug'lik oqimi 1 lm ga teng bo'ladi.
- D) Quvvati $\frac{1}{683}V_l$ bo'lgan manba faqat to'liq uzunligi 410 nm bo'lgan binafsha to'liq nurlasa, uning yorug'lik oqimi 1 lm ga teng bo'ladi.

4. Yorug'lik oqimining formulasini yozing.

- A) $E = \frac{\Phi}{S}$ B) $E = \frac{\Phi}{S^2}$ C) $E = \Phi S$ D) $E = I S$

5. Manbadan 3 marta uzoqlashganda sirtning yoritilganligi necha marta kamayadi?

- A) 3 marta B) 9 marta C) 27 marta D) 1/3 marta

6. 100 kd bo'lgan cho'g'lanma lampaning yorug'lik oqimi nimaga teng?

- A) 628 lm B) 314 lm C) 1256 lm D) 157 lm

7. Agar quvvati 150 Vt bo'lgan cho'g'lanma lampa 120 kd yorug'lik kuchiga ega bo'lsa, u holda bu lampaning yorug'lik berishi nimaga teng?

- A) 15 lm/Vt B) 10,05 lm/Vt C) 105 lm/Vt D) 12,56 lm/Vt

8. Ravshanlikning formulasini yozing.

- A) $B = \frac{I}{S}$ B) $B = \frac{I}{S^2}$ C) $\Phi = I S$ D) $\Phi = S / I$

9. Agar yorug'lik kuchi 100 kd bo'lgan cho'g'lanma lampaning sirti 40 sm^2 bo'lsa, u holda bu manbaning ravshanligi qanday?

- A) 100 000 nt B) 50 000 nt C) 1256 nt D) 25 000 nt

10. Yoritilganlik va ravshanli nimani xarakterlaydi?

- A) Yoritilganlik yorug'lik chiqaruvchi manba sirtini xarakterlaydi, ravshanlik esa yorug'lik kelib tushadigan manba sirtini xarakterlaydi.
- B) Yoritilganlik ham ravshanlik ham yorug'lik kelib tushadigan sirtini xarakterlaydi.
- C) Yoritilganlik yorug'lik kelib tushadigan sirtini xarakterlaydi, ravshanlik esa yorug'lik chiqaruvchi manba sirtini xarakterlaydi.
- D) Yoritilganlik ham ravshanlik ham manba sirtini xarakterlaydi.



VI BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Bir-biridan 20 sm masofada turgan ikkita ekran orasiga yorug'lik manbai joylashtirilgan. Chap ekran o'ng ekranga nisbatan 3 marta ko'proq yoritilishi uchun manbani chap ekrandan qanday masofada qo'yish kerak?

2. Bir-biriga nisbatan 6 m masofada, 4 m uzunlikdagi vertikal holda o'rnatilgan ikki simyog'ochga yorug'lik kuchlari $I_1 = I_2 = 200 \text{ kd}$ bo'lgan yorug'lik manbalari osilgan. Har bir lampa ostidagi va simyog'ochlar o'rtasidagi er yuzining yoritilganligini toping.

3. 0,6 str fazoviy burchak uchiga oʻrnatilgan nuqtaviy manba shu burchak uchida 240 lm yorugʻlik oqimini tarqatadi. Manbaning yorugʻlik kuchini aniqlang.

4. Fotometr bir tomondan 50 sm narida turgan yorugʻlik kuchi 100 kd boʻlgan lampa bilan yoritilmoqda. Fotometrning qismlari (har ikki tomoni) bir xil yoritilishi uchun uning ikkinchi tomoniga 30 sm masofada turgan lampaning yorugʻlik kuchi qancha boʻlishi kerak?

5. Yassi sirtning nuqtaviy manbaga eng yaqin nuqtasidagi yoritilganligi 100 lk ga teng. Shu sirtga nurning tushish burchaklari 30° , 45° , 60° boʻlgan joylaridagi yoritilganliklar nimaga teng boʻladi?

6. 25 kd va 100 kd li ikkita lampa bir-biridan 1 m masofada joylashgan. Fotometrning ikkala tomoni bir xilda yoritilishi uchun uni manbalar orasiga qaysi joyga qoʻyish kerak boʻladi?

7. 100 kd yorugʻlik kuchiga ega boʻlgan lampochka bilan yuzasi 300 cm^2 boʻlgan qogʻoz varagʻi yoritiladi? Unga lampochkadan butun yorugʻlikning 0,5 foizi tushadi. Shu qogʻiz varagʻining yoritilganligini toping.

8. Quyoshning toʻgʻri tushayotgan nurlari 10^5 lk yoritilganlik hosil qiladi. Yorugʻlik uchi 1000 kd boʻlgan lampadan qanday masofada xuddi shunday yoritilganlik hosil qilish mumkin?

9. Yorugʻlik nurlari tik tushayotgan sirtning 500 Vt quvvatli lampa tomonidan yoritilganligi 28 lk ga teng. Lampa bilan sirt orasidagi masofa 5 m. Lampaning yorugʻlik berishini (lm/Vt) larda toping.

10. Bir ishni bajarish uchun stolning yoritilganligi 10 lk boʻlishi kerak. Yorugʻlik kuchi 100 kd boʻlgan lampani stol markazidan qanday balandlikka oʻrnatish kerak boʻladi?

11. Normal tushayotgan Quyosh nuridan Yer sirtining yoritilganligini aniqlang. Quyoshning ravshanligi $1,2 \cdot 10^9\text{ nt}$.

Geometrik optika yorug'likning qaytish va sinish qonunlari, optik asboblari, ko'z va uning nuqsonlari va boshqalarni o'rganuvchi fizikaning bir bo'limidir. Geometrik optikada yorug'lik nurini yorug'lik energiyasi tarqalayotgan to'g'ri chiziqli deb hisoblab, uning ichki xususiyatlariga e'tibor berilmaydi. To'siq va tirqishlarga duch kelganda yorug'lik nuri o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi, geometrik soya tomonga og'maydi deb hisoblanadi.

Geometrik optikada asosan 4ta qonunga tayanib ish ko'riladi:

1. Yorug'lik nurining to'g'ri chiziqli bo'ylab tarqalish qonuni;
2. Yorug'lik nurlarining mustaqillik qonuni;
3. Yorug'likning qaytish qonuni;
4. Yorug'likning sinish qonuni.

Shulardan masalalar yechishda yorug'likning qaytish va sinish qonunlariga ko'p duch kelamiz.



§ 36. YORUG'LIKNING QAYTISH QONUNI. YASSI KO'ZGU. SFERIK KO'ZGU.

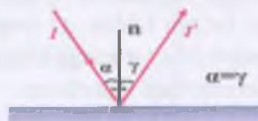
Yorug'likning qaytish qonuni:

Basketbol o'ynaganda koptokni yerga qanday burchak ostida ursa, koptok erdan shunday burchak ostida qaytadi hamda koptokning tushish va qaytish traektoriyalari bitta tekislikda yotadi. Impulsning saqlanish qonuniga ko'ra ham xuddi shunday bo'lish kerak edi. Xuddi shu singari, yorug'lik nuri biror yaltiroq sirtga kelib tushganda ham shunga o'xshash hodisa yuz beradi. Buni yorug'likning sinish qonuni deb yuritiladi.

Sirtga tushayotgan nur, tushish nuqtasiga o'tkazilgan normal va sirtidan qaytgan nur bir tekislikda yotadi. Tushish burchagi qaytish burchagiga teng.

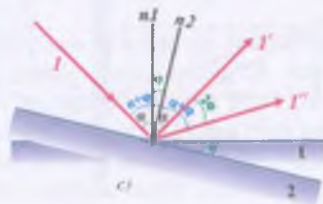
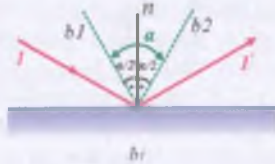
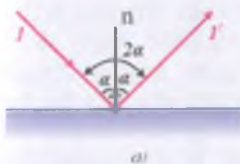
$$\alpha = \gamma$$

- 1—tushgan nur;
- 2—qaytgan nur;
- n —tushish nuqtasiga o'tkazilgan normal;
- α —tushish burchagi;
- γ —qaytish burchagi



36.1-rasm

Yorug'likning qaytish qonunini impulsning saqlanish qonunidan keltirib chiqarish mumkin.



36.2-rasm

Ko'zguga tushgan nur I va ko'zgudan qaytgan nur I' orasidagi burchak har doim $\varphi = 2\alpha$ ga teng bo'ladi (36.2-a,rasm).

Ko'zguga tushgan nur I va ko'zgudan qaytgan nur I' bissektisarlari orasidagi burchak har doim α ga teng bo'ladi (36.2-b,rasm).

Agar ko'zguni biror φ burchakka burilsa, ko'zgudan qaytgan nur esa 2φ burchakka buriladi (36.2-c,rasm).

Agar ko'zguni ω burchak tezlik bilan aylantira boshlansa, ko'zgudan qaytgan nur esa 2ω burchak tezlik bilan burila boshlaydi.

Yassi ko'zgu va unda tasvir yasash:

Yassi ko'zgu sirti yaltiroq bo'lgani sababli o'zining sirtiga tushayotgan nurni qaytarish xususiyatiga ega. Yorug'likning qaytish qonuniga asosan, yorug'lik ko'zgu sirtiga qanday burchak ostida tushsa, shunday burchak ostida qaytadi.

Ko'zguga qaraganda o'zimizning va boshqa narsalarning aksini ko'ramiz. Xo'sh, ko'zguda tasvir qanday yasaladi?

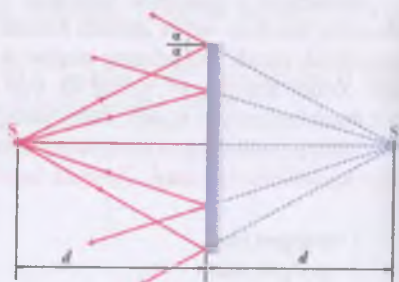
Rasmdan ko'rinib turibdiki, S manbadan chiqqan chiqqan I nur ko'zgudan qaytib, kuzatuvchi ko'ziga I' nur bo'lib tushyapti. Lekin, kuzatuvchi I' nurni xuddi S' manbadan kelayotgandek qilib ko'radi. Ko'zgu sirtidan qaytgan barcha nurlarning teskari davomlari bitta S' nuqtada kesishadi. S' nuqtada S manbaning tasviri bo'lib, uni mavhum manba deyiladi.

S manba ko'zgu sirtidan d masofada bo'lsa, uning tasviri S' nuqta ko'zgu ichida shuncha d masofada hosil bo'ladi. Bu yerda kuzatuvchi tasvirni ko'zgu orqasida d masofada ko'ryapti.

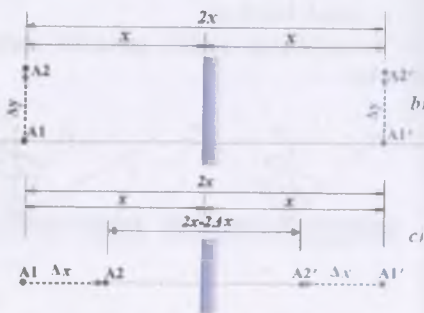
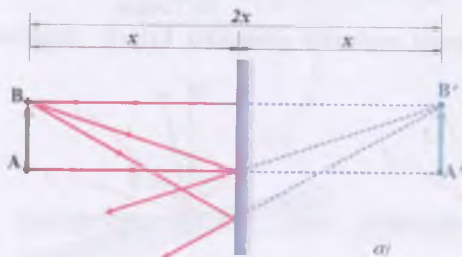
Agar A nuqtadagi buyum va ko'zgu K orasidagi masofa x bo'lsa, u holda tasvir A' nuqtada hosil bo'ladigan tasvir va ko'zgu orasidagi masofa ham x bo'ladi. Buyum va uning tasviri orasidagi masofa esa $AA' = 2x$ bo'ladi (36.4-a,rasm).

Agar buyum A_1 nuqtadan ko'zguga Δx masofaga yaqinlashib A_2 nuqtaga kelsa, u holda tasvir ko'zgu ichida A_1' nuqtadan Δx masofaga yaqinlashib A_2' nuqtaga keladi. Buyum va uning tasviri orasidagi masofa esa

$A_1A_1' - A_2A_2' = 2\Delta x$ ga qisqaradi (36.4-b,rasm).



36.3-rasm

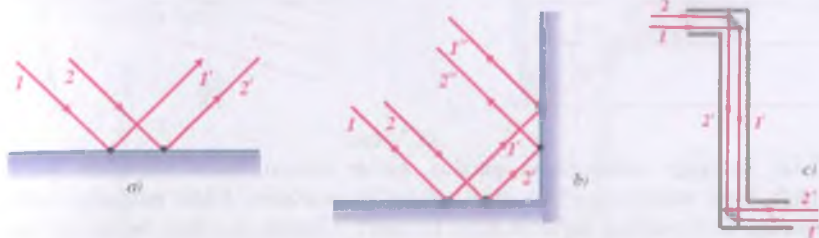


36.4-rasm

Agar buyum A_1 nuqtadan ko'zguga parallel holda Δy masofaga siljib A_2 nuqtaga kelsa, u holda tasvir ko'zgu ichida A_1' nuqtadan ko'zguga parallel holda Δy masofaga siljib A_2' nuqtaga keladi. Buyum va uning tasviri orasidagi masofa esa avvalgicha qolaveradi (36.4-c,rasm).

Nurning yassi ko'zgularidagi yo'li:

Yorug'likning qaytish qonunidan texnika va turmushda ko'p foydalaniladi. Har qanday holatda ham tushgan nur va qaytgan nurning bissektrisasi ko'zguning normalini beradi, normal esa ko'zguga perpendikulyar bo'ladi.

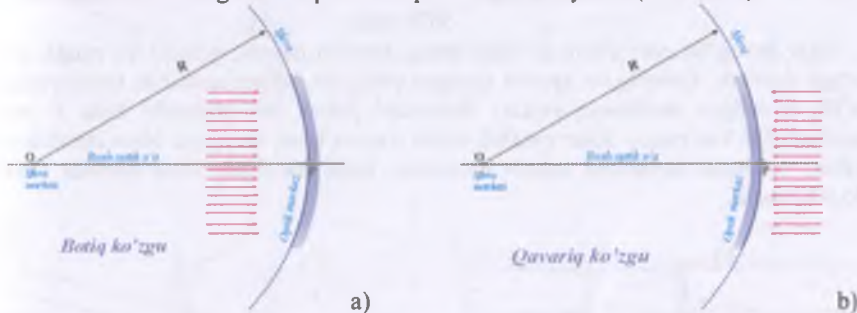


36.5-rasm

36.5-rasmda ikkita parallel 1 va 2 nurlarning yassi ko'zgudagi, to'g'ri burchakli ko'zgudagi va periskopdagi yo'llari tasvirlangan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, nurlar har safar ko'zgudan qaytganda nurlar o'zni almashar ekan.

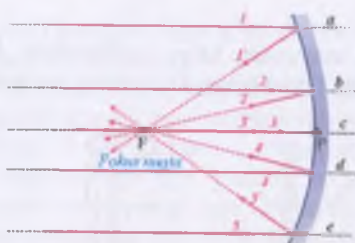
Sferik ko'zgu va uning turlari:

Nur qaytarish xususiyatiga ega bo'lgan yaltiroq sferik sirtga *sferik ko'zgu* deyiladi. Sferik ko'zguning botiq va qavariq turlari bor. Amalda sferik ko'zgular tayyorlashda to'liq sfera olinmasdan, sferaning ma'lum bir qismi olinadi. Ko'zguning qavariqlik markazini *egrilik markazi*, simmetriya o'qini *bosh optik o'q* deyiladi. Bosh optik o'q bilan sferik sirt kesishadigan R nuqtani esa *optik markaz* deyiladi (36.6-rasm).

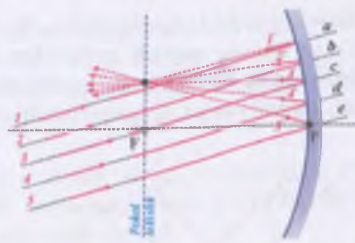


36.6-rasm

Agar yorug'lik nuri sferik sirtning ichki sirtidan qaytsa, bunday ko'zguga *botiq ko'zgu* deyiladi. Agar botiq ko'zguning bosh optik o'qiga parallel holda yorug'lik nurlari tushirilsa, qaytgan yorug'lik nurlari yig'ilish xususiyatiga ega bo'lib, yig'ilgan nurlar *fokus* deb ataluvchi bitta F nuqtada kesishadi (36.7-a, rasm). Ko'zgu fokusidan bosh optik o'qqa perpendikulyar holda o'tkazilgan tekislikni *fokal tekislik* deyiladi. Agar parallel nurlar dastasi botiq ko'zguga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlar fokal tekislikda bitta nuqtada kesishadi (36.7-b, rasm).



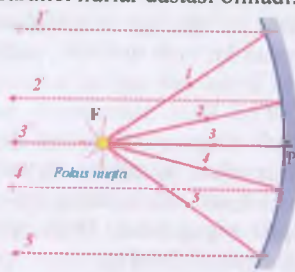
a)



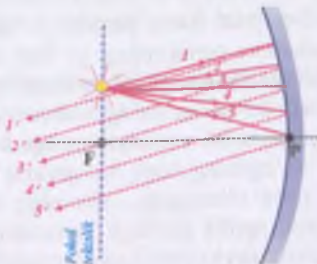
b)

36.7-rasm

Botiq ko'zguga tushayotgan parallel nurlar dastasi fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig'ilar ekan, yorug'lik manbaini fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylasak nima bo'ladi? – Bunda quyidagi rasmda ko'rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi.



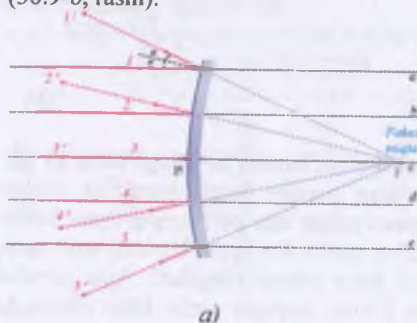
a)



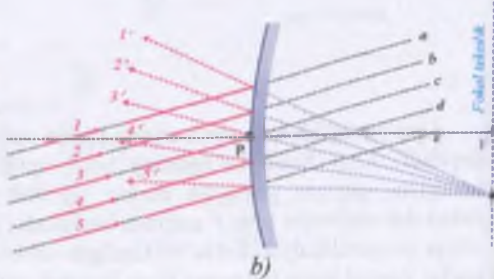
b)

36.8-rasm

Agar yorug'lik nuri sferik sirtning tashqi sirtidan qaytsa, bunday ko'zguga *qavariq ko'zgu* deyiladi. Qavariq ko'zgudan qaytgan yorug'lik nurlari sochilish xususiyatiga ega bo'lib, sochilgan nurlarning teskari davomlari *fokus* deb ataluvchi bitta F nuqtada kesishadi (36.9-a, rasm). Agar parallel nurlar dastasi botiq ko'zguga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlarning teskari davomlari fokal tekislikda bitta nuqtada kesishadi (36.9-b, rasm).



a)

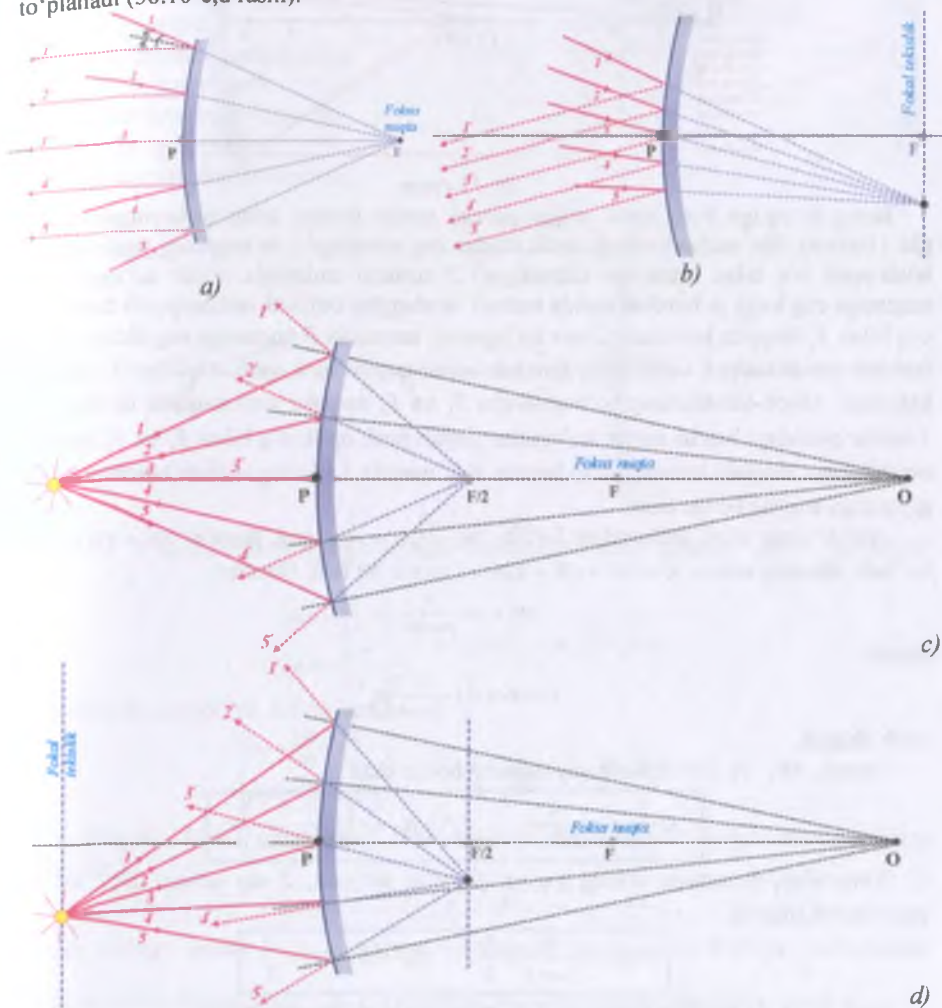


b)

36.9-rasm

Sochuvchi linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasining teskari davomlari fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig'ilar ekan, yorug'lik nurlarini fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga yo'naltirsak nima bo'ladi? – Bunda 36.10-a, b rasmda ko'rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi.

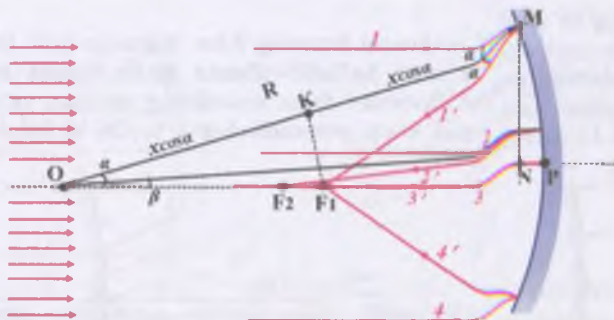
Agar yorug'lik manbai sochuvchi linzaning fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylashtirilsa nima bo'ladi?– Bunda nurlar linzada kuchli sochiladi, sochilgan nurlarning teskari davomlari fokus masofaning yarmida, ya'ni $F/2$ nuqtada yoki shu nuqtadan bosh optik o'qqa perpendikulyar o'tuvchi tekislikda biror nuqtada to'planadi (36.10-c,d rasm).



36.10-rasm

Sferik ko'zguning fokus masofasi:

Yuqorida biz bosh optik o'qqa parallel bo'lgan nurlar dastasi ko'zgu sirtiga tushganda singan nur fokus deb ataluvchi bitta nuqtada kesishadi degan edik. Bu fikr qanchalik to'g'ri ekanligini tekshirib ko'raylik.



36.11-rasm

Botiq ko'zguga bosh optik o'qqa paralel nurlar dastasi (36.11-rasm). Shu nurlardan bosh optik o'qdan eng uzoqdagi 1 nurlar bosh optik o'q bilan ustma-ust tushadigan 2 nurlarni tanlaymiz. 1 nurlar ko'zguning M nuqtasiga eng katta α burchak ostida tushadi va shunday burchak ostida qaytib bosh optik o'q bilan F_1 nuqtada kesishadi. 2 nurlar ko'zguning taxminan P nuqtasiga eng kichik $\beta \approx 0^\circ$ burchak ostida tushadi va shunday burchak ostida qaytib bosh optik o'q bilan F_2 nuqtada kesishadi. Hisob-kitoblarning ko'rsatishicha F_1 va F_2 nuqtalar 2 nurlar orasidagi barcha nurlar ko'zgudan qaytib bosh optik o'q bilan F_1 va F_2 nuqtalar orasida biror nuqtada kesishar ekan hamda F_1F_2 masofa 1 nurlar qiyamatiga bog'liq bo'lar ekan.

Bundan $OK = KM = x \cos \alpha$ bo'ladi. Shuning uchun $R = OM = OK + KM = 2x \cos \alpha$ bo'ladi. Bundan

$$OF_1 = x = \frac{R}{2 \cos \alpha}$$

hamda

$$F_1P = R - x = \left(1 - \frac{1}{2 \cos \alpha}\right) R$$

kelib chiqadi.

Demak, OF_1 va F_1P masofa quyidagicha bo'lar ekan:

$$OF_1 = x = \frac{R}{2 \cos \alpha}, \quad F_1P = R - x = \left(1 - \frac{1}{2 \cos \alpha}\right) R$$

Yuqoridagi formulada α ning joyiga $\beta \approx 0^\circ$ ni qo'yusak, 2 nurlar uchun OF_2 va F_2P masofalarni olamiz.

$$OF_2 = \frac{R}{2 \cos \beta} \approx \frac{R}{2}, \quad F_2P = R - OF_2 \approx \frac{R}{2}$$

Endi F_1 va F_2 nuqtalar orasidagi F_1F_2 masofani topishimiz mumkin.

$$F_1F_2 = OF_1 - OF_2 = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$$

Yuqoridagi formuladan foydalanib, $\alpha = 30^\circ$ bo'lgan holni qarasak, $F_1F_2 = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{\cos 30^\circ} - 1 \right) = 0,0774 R$ bo'lar ekan. Agar $\alpha = 0^\circ$ bo'lsa, $F_1F_2 = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{\cos 0^\circ} - 1 \right) = 0$ bo'ladi.

Bu siljishga bo'ylama sferik abberatsiya deyiladi.

Ko'zgu formulasi, ko'zguning kattalashtirishi:

Ko'zgu formulasini keltirib chiqarishdan oldin ba'zi belgilashlar kiritib olaylik.

$AB = h$ – buyumning balanligi;

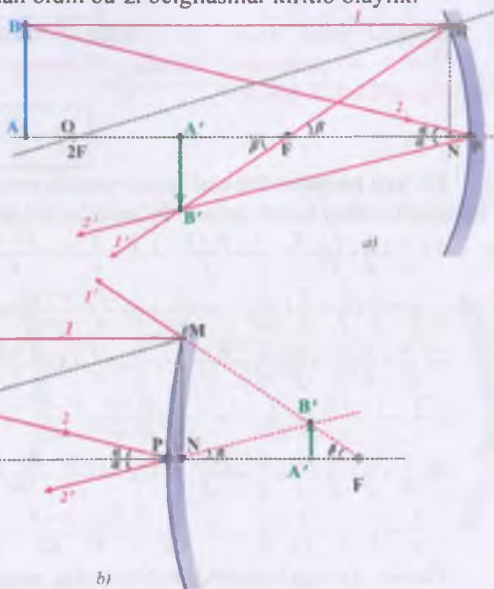
$A'B' = H$ – tasvirning balandligi;

$OF = FP \approx F$ – ko'zguning fokus masofasi;

$AP = d$ – ko'zgudan buyumgacha bo'lgan masofa;

$A'P = f$ – ko'zgudan tasvirgacha bo'lgan masofa;

K – ko'zguning kattalashtirishi.



36.12-rasm

36.12-a, b rasmlardan foylanib ko'zgu formulasini hosil qilamiz. $\triangle ABP$ va $\triangle A'B'P$ lardan

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{AP} = \frac{h}{d} \\ \operatorname{tg} \alpha = \frac{A'B'}{A'P} = \frac{H}{f} \end{cases} \Rightarrow \frac{h}{d} = \frac{H}{f} \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = K$$

kelib chiqadi. $\triangle MNF$ va $\triangle A'B'F$ lardan

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \beta = \frac{MN}{FN} = \frac{AB}{FP} = \frac{h}{F} \\ \operatorname{tg} \beta = \frac{A'B'}{A'F} = \frac{H}{f-F} \end{cases} \Rightarrow \frac{h}{F} = \frac{H}{f-F} \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = K$$

kelib chiqadi. Ikki sistemadagi kattalashtirish formulalarini tenglashtirib natijaga erishamiz.

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = \frac{f}{d} \Rightarrow f d - F d = f F \quad (:) f F d, \rightarrow \frac{1}{F} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d}, \rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$$

Demak, ko'zgu uchun $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$ ko'zgu formulasini hosil qildik. Ko'zgu formulasidan

foydalanganda, formuladagi d, f, F kattaliklar turli ishoralar qabul qilish mumkin.

Agar ko'zgu botiq bo'lsa $F > 0$, qavariq bo'lsa $F < 0$ bo'ladi.

Agar tasvir haqiqiy bo'lsa $f > 0$, mavhum bo'lsa $f < 0$ bo'ladi.

Agar manba (buyum) haqiqiy bo'lsa $d > 0$, mavhum bo'lsa $d < 0$ bo'ladi. Lekin mavhum manba masalalarda umuman uchramaydi.

Botiq va qavariq ko'zgular uchun ko'zgu formulalari quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

botiq ko'zguda, $d > F$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

botiq ko'zguda, $d < F$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

qavariq ko'zgu

Tasvir o'lchamining buyum o'lchamiga nisbatiga teng kattalikka ko'zguning kattalashtirishi deyiladi.

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

Ko'zgu kattalashtirishini fokus masofa orqali ham ifodalash mumkin. Har bir holatda kattalashtirishni topish uchun shu holatlar uchun ko'zgu formulasidan foydalanamiz.

$$1) \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{K}{f} + \frac{1}{f} = \frac{K+1}{f}; \rightarrow K = \frac{f}{F} - 1 = \frac{f-F}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{Kd}; \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d-F}{Fd}; \rightarrow K = \frac{F}{d-F}$$

$$2) \frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{K}{f} - \frac{1}{f} = \frac{K-1}{f}; \rightarrow K = \frac{f}{F} + 1 = \frac{f+F}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d} - \frac{1}{Kd}; \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{d} - \frac{1}{F} = \frac{F-d}{Fd}; \rightarrow K = \frac{F}{F-d}$$

$$3) \frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f} - \frac{K}{f} = \frac{1-K}{f}; \rightarrow K = 1 - \frac{f}{F} = \frac{F-f}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{Kd} - \frac{1}{d}; \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{F} + \frac{1}{d} = \frac{d+F}{Fd}; \rightarrow K = \frac{F}{d+F}$$

Demak, ko'zgu kattalashtirishini fokus masofa orqali quyidagicha ifodalana ekan:

$$K = \frac{f-F}{F} = \frac{F}{d-F}$$

botiq ko'zguda, $d > F$

$$K = \frac{f+F}{F} = \frac{F}{F-d}$$

botiq ko'zguda, $d < F$

$$K = \frac{F-f}{F} = \frac{F}{F+d}$$

qavariq ko'zgu

Ko'zgu-tasvir orasidagi masofa f va ko'zgu-buyum orasidagi masofa d larni kattalashtirish K orqali ifodalash quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} f = (K+1)F \\ d = \frac{K+1}{K}F \end{cases}$$

botiq ko'zguda, $d > F$

$$\begin{cases} f = (K-1)F \\ d = \frac{K-1}{K}F \end{cases}$$

botiq ko'zguda, $d < F$

$$\begin{cases} f = (1-K)F \\ d = \frac{1-K}{K}F \end{cases}$$

qavariq ko'zgu

Botiq ko'zguda tasvir yasash va botiq ko'zgu uchun xususiy holar:

Botiq ko'zgu yordamida buyumni joylashishiga qarab kattalashgan yoki kichiklashgan, haqiqiy yoki mavhum, to'g'ri yoki teskari tasvir hosil qilish mumkin. Biz har bir xususiy holga alohida-alohida to'xtalib o'tamiz.

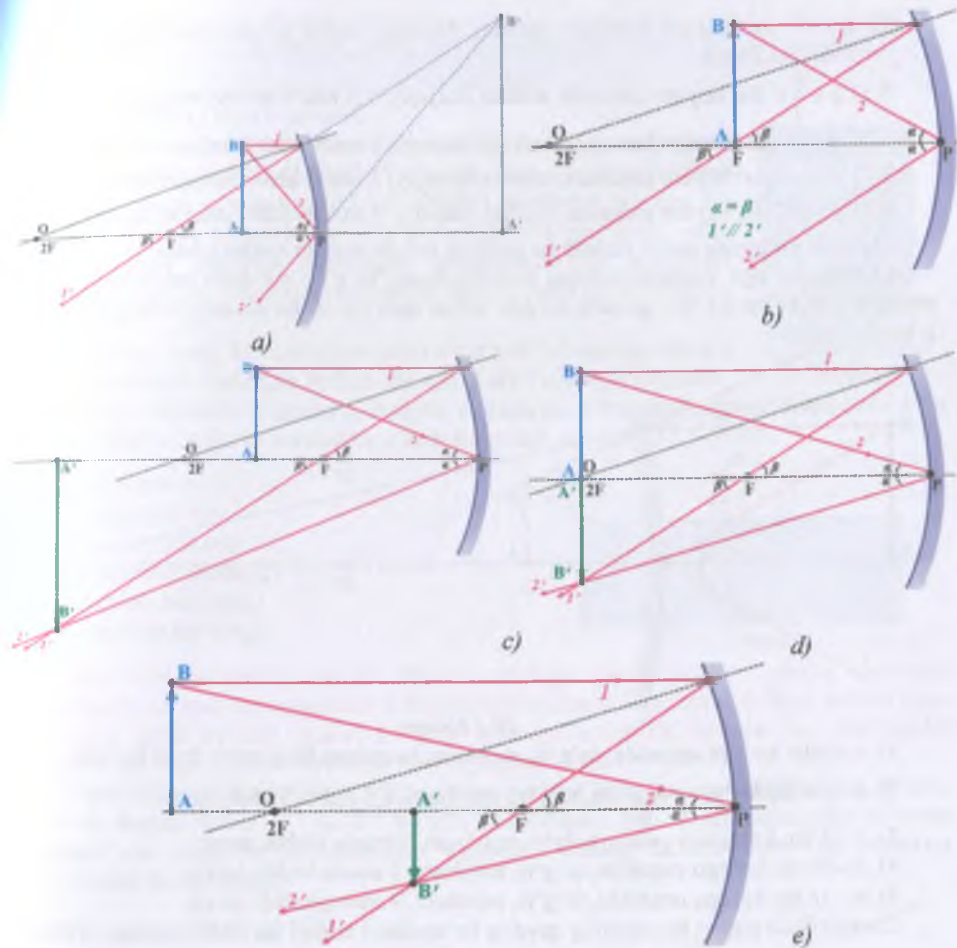
1) $d < F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, kattalashgan tasvir hosil bo'ladi (36.13-a, rasm).

1.1) $d = \frac{1}{3}F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 1,5 marta kattalashgan tasvir.

1.2) $d = \frac{1}{2}F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 2 marta kattalashgan tasvir.

1.3) $d = \frac{2}{3}F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 3 marta kattalashgan tasvir.

1.4) $d = \frac{3}{4}F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 4 marta kattalashgan tasvir.



36.13-rasm

- 2) $d = F$ da: tasvir hosil bo'lmaydi (36.13-b, rasm).
- 3) $F < d < 2F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, kattalashgan tasvir hosil bo'ladi (36.13-c, rasm).
 - 3.1) $d = \frac{5}{3}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kattalashgan.
 - 3.2) $d = \frac{3}{2}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 2 marta kattalashgan.
 - 3.3) $d = \frac{4}{3}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 3 marta kattalashgan.
 - 3.4) $d = \frac{5}{4}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 4 marta kattalashgan.
- 4) $d = 2F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, teng tasvir hosil bo'ladi (36.13-d, rasm).

5) $d > 2F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, kichiklashgan tasvir hosil bo'ladi (36.13-e,rasm).

5.1) $d = \frac{5}{2}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kichiklashgan tasvir.

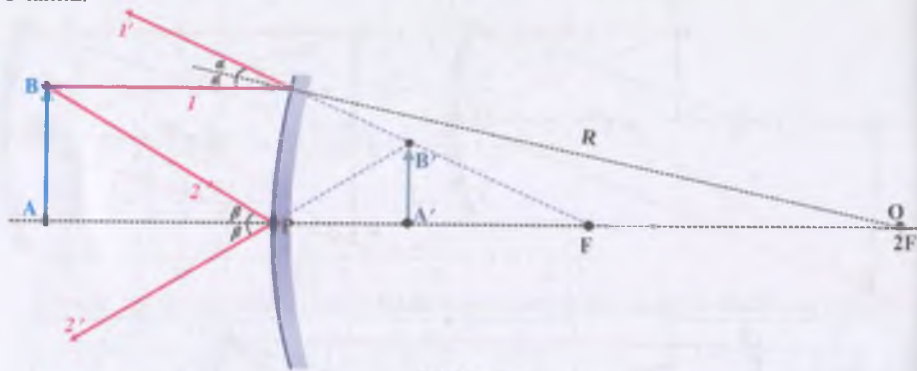
5.2) $d = 3F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 2 marta kichiklashgan tasvir.

5.3) $d = 4F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 3 marta kichiklashgan tasvir.

5.4) $d = 5F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 4 marta kichiklashgan tasvir.

Qavariq ko'zguda tasvir yasash va qavariq ko'zgu uchun xususiy holar:

Qavariq ko'zgu yordamida faqat kichiklashgan, to'g'ri, mavhum tasvir hosil qilish mumkin (36.14-rasm). Biz qavariq ko'zgu uchun ham bir necha xususiy hollarga to'xtalib o'tamiz.



36.14-rasm

1) $d \approx 0$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, taxminan teng tasvir hosil bo'ladi.

2) $d = \frac{1}{2}F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 1,5 marta kichik tasvir.

3) $d = F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 2 marta kichik tasvir.

4) $d = 2F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 3 marta kichik tasvir.

5) $d = 3F$ da: ko'zgu orqasida, to'g'ri, mavhum, 4 marta kichik tasvir.

Cheksizlikda turgan buyumning qavariq ko'zgudagi tasviri mavhum nuqtaga aylanadi.



1. Yorug'likning qaytish qonunini aytib bering.

2. Yassi ko'zguda tasvir qanday yasaladi? Buyum va tasvir orasidagi masofa nimaga teng?

3. Yassi ko'zguga buyum yaqinlashganda, uzoqlashganda, ko'zguga parallel holda siljiganda va ko'zguni burganda qanday hodisalar ro'y beradi?

4. Botiq sferik ko'zguda tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo'ladi?

5. Qavariq sferik ko'zguda tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo'ladi?

6. Botiq va qavariq sferik ko'zgular uchun linza formulalarini yozing.

7. Botiq va qavariq sferik ko'zgular uchun kattalashtirish formulalarini yozing.

8. Botiq sferik ko'zgu uchun xususiy hollarni tasvirlab bering.

9. Qavariq sferik ko'zgu uchun xususiy hollarni tasvirlab bering.



§ 37. YORUG'LIKNING SINISH QONUNI. TO'LA ICHKI QAYTISH HODISASI

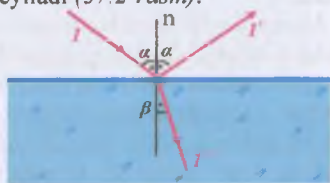
Yorug'likning sinish qonuni:

Yorug'lik nurini o'tkazish xususiyatiga ega bo'lgan modda yoki muhitga **shaffof muhit** deyiladi. Yorug'lik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga o'tganda yoki bir shaffof muhitdan boshqa bir shaffof muhitga o'tganda nur o'z yo'nalishini o'zgartiradi, ya'ni sinadi. Bunga stakanga tushirilgan qalamchani yon tomondan qaraganda sinib ko'rinishidan ham qarab ishonch hosil qilish mumkin (37.1-rasm).



37.1-rasm

Aytaylik, yorug'lik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga biror α burchak ostida tushayotgan bo'lsin. Bu nur shaffof muhitga o'tganda dastlabki yo'nalishini o'zgartirib, tushish nuqtasidan o'tkazilgan normal bilan biror $\beta < \alpha$ burchak hosil qiladi. Bu burchakka **sinish burchagi** deyiladi (37.2-rasm).



37.2-rasm

- I – tushgan nur;
- I' – qaytgan nur;
- I'' – qaytgan nur;
- α – tushish burchagi;
- β – sinish burchagi;
- γ – qaytish burchagi;

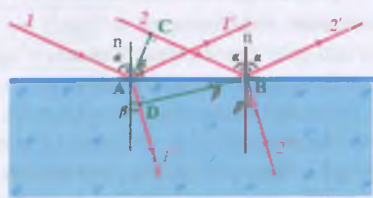
Yorug'likning sinish qonuni: Shaffof muhitga tushgan nur, tushish nuqtasiga o'tkazilgan normal va singan nur bitta tekislikda yotadi. Nur optik zichligi past bo'lgan muhitdan optik zichligi yuqori bo'lgan muhitga o'tganda, singan nur ikki muhit chegarasidan uzoqlashib normalga tomon yaqinlashadi.

Vakuumdan shaffof muhitga ikkita o'zaro parallel 1 va 2 nurlar tushayotgan bo'lsin. Muhitda singan nurlar 1' va 2' bo'lsin (37.3-rasm). Muhitning vakuumga nisbatan absolyut nur sindirish ko'rsatkichini topaylik. Buning uchun $\triangle ABC$ va $\triangle ABD$ lar sinuslaridan foydalanamiz.

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{c \Delta t}{AB} & (1) \\ \sin \beta = \frac{AD}{AB} = \frac{g \Delta t}{AB} & (2) \end{cases}$$

(1) : (2) amalini bajarib natijaga erishamiz.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{g} = \frac{\lambda_{vak}}{\lambda_{muh}} = n$$



37.3-rasm

Shaffof muhitning vakuumga nisbatan **absolyut nur sindirish ko'rsatkichi** deb tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbatiga teng kattalikka aytiladi.

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{g} = \frac{\lambda_{vak}}{\lambda_{muh}}$$

Yuqoridagi formulada $c = \lambda_{vak} \nu$ va $g = \lambda_{muh} \nu$ formulalarga asosan yorug'lik nuri (umuman elektromagnit to'liqini) vakuumdan muhitga o'tganda to'liqin uzunligi va tezligi qisqarib, chastotasi esa o'zgarmasdan qolishini e'tiborga olindi.

Absolyut nur sindirish ko'rsatkichining qiymati qanchalik katta bo'lsa, nur dastlabki yo'nalishidan normal tomonga shunchalik ko'p og'adi. Absolyut nur sindirish ko'rsatkichi kattaroq bo'lgan muhitni *optik zichroq muhit*, aksincha esa *optik siyrakroq muhit* deyiladi.

Shaffof muhit absolyut nur sindirish ko'rsatkichini uning elektr va magnit xossalari orqali ham ifodalash mumkin.

$$n = \sqrt{\epsilon \mu}$$

Yuqoridagi formuladan yorug'lik nurining shaffof muhitda tarqalish tezligini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$g = \frac{c}{n} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}}$$

Masalalar ishlaganda vakuum va havo uchun absolyut nur sindirish ko'rsatkichining qiymati $n=1$ deb olinadi. Shaffof muhitlar uchun absolyut nur sindirish ko'rsatkichi $n>1$ bo'ladi.

Agar yorug'lik nuri bir shaffof muhitdan ikkinchi shaffof muhitga o'tayotgan bo'lsa, tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati birinchi muhitning ikkinchi muhitga nisbatan nisbiy nur sindirish ko'rsatkichini beradi. Ikkinchi muhit absolyut nur sindirish ko'rsatkichining birinchi muhit absolyut nur sindirish ko'rsatkichiga nisbati birinchi muhitning ikkinchi muhitga nisbatan *nisbiy nur sindirish ko'rsatkichi* deyiladi.

Nisbiy nur sindirish ko'rsatkichi xuddi absolyut nur sindirish ko'rsatkichi kabi aniqlanadi.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{c \Delta t}{AB} \quad (1) \\ \sin \beta = \frac{AD}{AB} = \frac{g \Delta t}{AB} \quad (2) \end{array} \right. \Rightarrow n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{g_2}}{\frac{c}{g_1}} = \frac{g_1}{g_2} = \frac{\lambda_2 v}{\lambda_1 v} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Demak, nisbiy nur sindirish ko'rsatkichi quyidagicha bo'lar ekan (37.2-rasm):

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{g_1}{g_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Yuqoridagi formulada $g_1 = \lambda_1 v$ va $g_2 = \lambda_2 v$ formulalarga asosan yorug'lik nuri (umuman elektromagnit to'lqini) bir muhitdan boshqa muhitga o'tganda to'lqin uzunligi va tezligi o'zgarib, chastotasi esa o'zgarmasdan qolishini e'tiborga olindi.

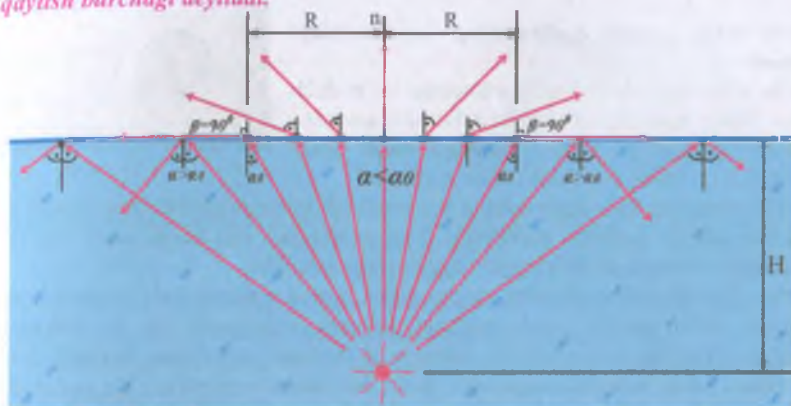
To'la ichki qaytish hodisasi:

Avvalgi mavzuda yorug'lik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga yoki optik siyrak muhitdan optik zich muhitga o'tgan holni ko'rdik. Bunda yorug'lik nuri ikki muhit chegarasidan uzoqlashib, normal tomonga yaqinlashgan edi. Endi teskari holni, ya'ni yorug'lik nuri biror shaffof muhitdan vakuumga yoki optik zich muhitdan optik siyrak muhitga o'tgan holni qaraylik. Xo'sh, bunda nima hodisa ro'y beradi?

Yorug'lik nuri biror shaffof muhitdan vakuumga yoki optik zich muhitdan optik siyrak muhitga o'tganda singan nur normaldan uzoqlashib ikki muhit chegarasi tomonga yaqinlashadi. Tushish burchagini qiymati oshirib borilsa, sinish burchagi tezroq osha boshlaydi. Tushish burchagining shunday bir $\alpha = \alpha_0$ qiymati mavjudki, bunda sinish burchagining qiymati 90° gacha etadi, ya'ni $\beta = 90^\circ$ bo'ladi. Bunda singan nur ikki muhit chegarasi bo'ylab tarqaladi. Agar tushish burchagining qiymati yana oshirib borilsa, ya'ni $\alpha > \alpha_0$ bo'lsa, nur sinmasdan birinchi muhitning o'ziga to'la qaytadi. Bunda ikki muhit

chegarasi ko'zguga aylanadi (37.4-rasm). Bu hodisaga *to'la ichki qaytish hodisasi* deyiladi.

Tushish burchagining to'la ichki qaytish hodisasi ro'y beradigan qiymatiga to'la ichki qaytish burchagi deyiladi.



37.4-rasm

Shaffof muhitdan vakuumga yorug'lik nuri o'tayotgan bo'lsin va bunda to'la ichki qaytish hodisasi sodir bo'lsin. Bunda tushish burchagi $\alpha = \alpha_0$ ga, sinish burchagi esa $\beta = 90^\circ$ ga teng bo'ladi. Muhitning vakuumga nisbatan absalyut nur sindirish ko'rsatkichi $n > 1$ bo'lgani uchun

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha_0} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \alpha_0} = \frac{1}{\sin \alpha_0}$$

bo'ladi. Bundan to'la ichki qaytish burchagi

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} \quad \text{yoki} \quad \alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n}$$

bo'ladi.

Demak, to'la ichki qaytish burchagi quyidagicha bo'lar ekan (37.4-rasm):

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} \quad \text{yoki} \quad \alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n}$$

Suyuqlik ichiga tushirilgan yorug'lik manbaidan tarqalayotgan nurning hammasi ham suyuqlik tashqariga chiqib keta olmaydi. Biror radiusli xalqa ichidagi nur sinib tashqariga havoga o'tadi, halqaning o'ziga tushgan nur ikki muhit chagarasi bo'ylab tarqaladi, xalqa tashqarisiga tushgan nur esa to'la ichki qaytish hodisasi tufayli yana birinchi muhitga, ya'ni suyuqlikka qaytadi (37.4-rasm). Boshqacha aytganda, xalqa tashqarisiga tushayotgan nur uchun ikki muhit chegarasi ko'zgu vazifasini o'taydi. Xalqa radiusini hisoblab topish mumkin.

Suyuqlik sirtidan H chuqurlikdagi manbadan tarqalayotgan nur tashqariga chiqib ketadigan xalqa radiusi quyidagicha bo'ladi:

$$R = H \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$$

Bu yerda: α_0 – to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi.

To'la ichki qaytish hodisasiga 37.5-rasmdagi kabi suyuqlik ichidan turli burchakda taraluvchi nurlar yoqish orqali ham kuzatish mumkin.

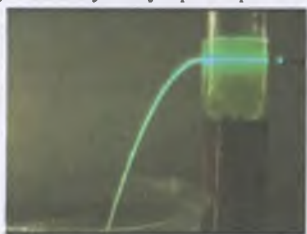
To'la ichki qaytish hodisasining hayotimizdagi ahamiyati:

To'la ichki qaytish hodisasiga hayotda ko'p duch kelamiz. Yozgi issiq kunda qizigan asfalt usti uzoqdan qaraganda yaltirab ko'rinadi. Asfaltga yaqin yuza isiganligi uchun uning nur sindirish ko'rsatkichi teparoqda sovuqroq havo qatlamining nur sindirish ko'rsatkichidan farq qiladi. Natijada to'la ichki qaytish hodisasi kuzatiladi. Undan tashqari cho'llarda sarob (ko'l) paydo bo'lish hodisasini ham xuddi shunday tushuntirish mumkin.

To'la ichki qaytish hodisasini uy sharoitida tajriba o'tkazib ham tekshirish mumkin. Suyuqlikka to'la shaffof idish tagidagi jo'mrak ochilganda bu jo'mrakning orqa tomonidan yorug'lik nuri yoqaylik. Shunda jo'mrakdan oqayotgan suyuqlik ichida bir necha marta ichki tomondan qaytgan nurni ko'rishimiz mumkin. Bu nur to'la ichki qaytish tufayli suyuqlik oqimidan tashqariga chiqib keta olmaydi (37.6-rasm).



37.5-rasm



37.7-rasm



37.8-rasm

To'la ichki qaytish hodisasidan aloqa vositalarida ham keng foydalaniladi. Bunga optik tolalar misol bo'ladi (37.6-rasm). Optik shisha tola ichiga qarata radioto'lqin yoki yorug'lik nuri yuboriladi. Bu to'lqin yoki nur shisha yola ichki sirtlaridan yuz ming martalab qaytadi va manzilga yetib boradi. Son'gra yetib borgan signalni kuchaytiriladi. Yo'lda bu optik tola egilgan yoki qayrilgan bo'lsa-da baribir signal bu toladan tashqariga chiqib ketmaydi.



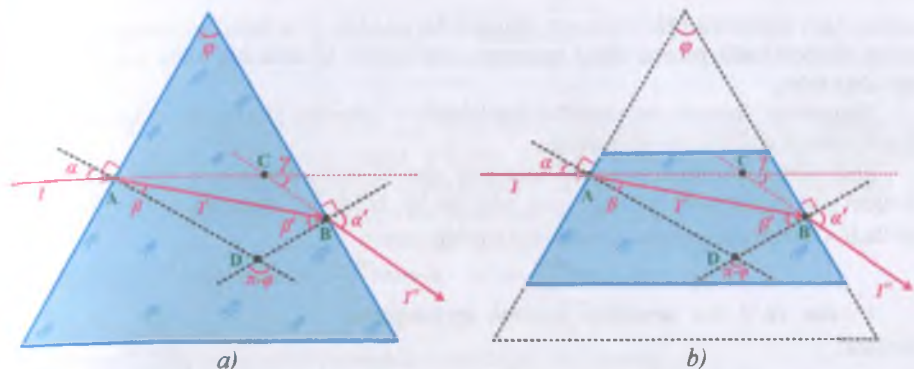
1. Yorug'likning sinish qonunini aytib bering. Optik zichlik nima?
2. Absolyut va nisbiy nur sindirish ko'rsatkichlari formulalarini yozib bering.
3. Nur sindirish ko'rsatkichining muhit xossalriga bog'liqlik ifodasini yozib bering.
4. To'la ichki qaytish hodisasi nima? To'la ichki qaytish burchagi-chi?
5. To'la ichki qaytish hodisasi qachon kuzatiladi?



§ 38. NURNING TURLI SHAFFOF JISMLARDAGI YO'LI.

Ushbu mavzuda yorug'lik nurining turli shaffof jismlardan qanday o'tishi yoritiladi. Barcha hollarda ham yorug'likning sinish qonuniga tayanib ish ko'riladi. Yorug'lik nuri optik zichroq muhitga o'tganda singan nur normal tomonga, optik siyrakroq muhitga o'tganda esa ikki muhit chegarasi tomonga yaqinlashadi.

Nurning uchburchakli prizmadagi yo'li:



38.1-rasm

Nurning shisha prizmadagi yo'lini tekshirib ko'raylik. Dastlab nur 1 shisha prizmaning chap yoniga tushadi. Nur havodan shishaga o'tgani sababli, singan nur 1' normal tomonga og'adi, ya'ni $\beta < \alpha$ bo'ladi. Yorug'likning sinish qonunidan sinish burchagi β ni topish mumkin.

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}, \rightarrow \beta = \arcsin \frac{\sin \alpha}{n}$$

Ixtiyoriy uchburchakning ichki burchaklari yig'indisi 180° ga tengligidan foydalanib 1' nurning prizma ikkinchi yog'iga tushish burchagi β' ni topish mumkin.

$$\beta + \beta' + \pi - \varphi = \pi, \rightarrow \beta' = \varphi - \beta = \varphi - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n}$$

B nuqtada nur shishadan havoga o'tayotgani uchun singan nur normaldan uzoqlashib, ikki muhit chegarasiga yaqinlashadi, ya'ni $\beta' < \alpha'$ bo'ladi.

$$\begin{aligned} n &= \frac{\sin \alpha'}{\sin \beta'}, \rightarrow \sin \alpha' = n \cdot \sin \beta' = n \cdot \sin \left(\varphi - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n} \right) = n \cdot \sin \varphi \cdot \cos \left(\arcsin \frac{\sin \alpha}{n} \right) + n \cdot \cos \varphi \sin \left(\arcsin \frac{\sin \alpha}{n} \right) = \\ &= \sin \varphi \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \cos \varphi \cdot \sin \alpha, \rightarrow \alpha' = \arcsin \left(\sin \varphi \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \cos \varphi \cdot \sin \alpha \right). \end{aligned}$$

Ixtiyoriy to'rtburchak ichki burchaklari yig'indisi 360° ga tengligidan foydalanib dastlabki yo'nalishidan siljish burchagi γ ni topamiz.

$$\alpha + \alpha' + (\pi - \varphi) + (\pi - \gamma) = 2\pi, \rightarrow \gamma = \alpha + \alpha' - \varphi.$$

Shunday qilib, uchidagi burchagi φ bo'lgan teng yonli uchburchakli prizmaning 1- yoniga nur α burchak ostida tushsa, sinish burchagi β , 2- yoniga ichki tarafdan tushish burchagi β' , 2-yondan chiqish burchagi α' , dastlabki yo'nalishidan og'ish burchagi γ quyidagicha (38.1-a,rasm):

$$\begin{cases} \beta = \arcsin \frac{\sin \alpha}{n} \\ \beta' = \varphi - \beta = \varphi - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n} \\ \alpha' = \arcsin \left(\sin \varphi \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \cos \varphi \cdot \sin \alpha \right) \\ \gamma = \alpha + \alpha' - \varphi \end{cases}$$

Yuqoridagi keltirib chiqarilgan formulalar faqatgina teng yonli uchburchakli prizma uchun bajarilmasdan, balki bu prizmadan kesib olingan teng yonli trapetsiyali prizma

uchun ham bajariladi (38.1-b,rasm). Bundan ko'rinadiki, yon tomonga tushganda singan nurni uchburchakli prizma asosi tomonga, trapetsiyali prizma esa katta asosi tomonga og'dirar ekan.

Yuqoridagi formula va rasmdan foydalanib 1' nurning prizma ikkinchi yog'iga tik holda tushish shartini topish mumkin.

Endi singan nur prizmaning ikkinchi yog'idan tik holda chiqadigan shartni aniqlaylik. Singan nur prizmaning ikkinchi yon yog'iga tik holda tushayotgani uchun $\alpha' = \beta' = 0^\circ$ bo'ladi. Oldingi chiqarilgan formuladan foydalanamiz.

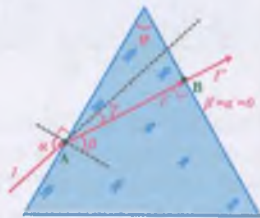
$$\beta' = \varphi - \beta = \varphi - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n} = 0, \rightarrow \varphi = \arcsin \frac{\sin \alpha}{n}, \rightarrow \sin \alpha = n \sin \varphi.$$

1" nur va 1 nur orasidagi burchak quyidagicha bo'ladi:

$$\gamma = \alpha + \alpha' - \varphi = \alpha - \varphi = \alpha - \beta$$

Demak, tushish burchagi quyidagicha bo'lganda singan nur prizmaning ikkinchi yog'idan tik holda chiqib ketar ekan (38.2-rasm).

$$\begin{cases} \varphi = \beta \text{ yoki } \sin \alpha = n \sin \varphi \\ \gamma = \alpha - \varphi = \alpha - \beta \end{cases}$$



38.2-rasm

38.1-rasmdan shunday savol tug'iladi: tushish burchagi α ning har qanday qiymatida ham prizmaning ikkinchi yog'idan nur chiqib keta oladimi? – Yo'q, bu har doim ham bajarilavermaydi. Singan nur 1' prizmaning ikkinchi yog'iga tushadigan burchak β' ning shunday bir qiymati borki, bunda nur tashqariga chiqmasdan ikki muhit chegarasi bo'ylab tarqaladi, ya'ni $\beta' = \alpha_0$ bo'lganda $\alpha' = 90^\circ$ bo'ladi (38.3-rasm).

Endi prizmaning ikkinchi yog'ida chegaraviy to'la ichki qaytish sodir bo'ladigan shartni aniqlaylik. Nur B nuqtadan tashqariga chiqmasdan ikki muhit chegarasi bo'ylab borishi uchun B nuqtaga tushish burchagi to'la ichki qaytishning chegaraviy qiymatiga teng, ya'ni $\beta' = \alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n}$ bo'lishi kerak. Bundan $\sin \beta' = \frac{1}{n}$ va $\cos \beta' = \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{n}$ kelib chiqadi.

$\beta' + \beta = \varphi$ hamda $\frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\sin \beta}{\sin \beta'}$ ekanligidan 1 nurning A nuqtaga tushish burchagi α ni yoki uning sinusi $\sin \alpha$ ni topish mumkin.

$$\sin \alpha = n \sin \beta = n \sin (\varphi - \beta') = n (\sin \varphi \cos \beta' - \cos \varphi \sin \beta') =$$

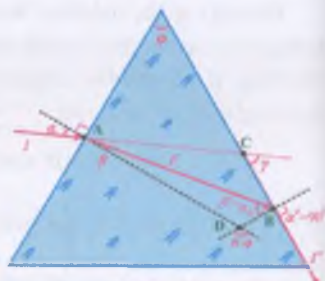
$$= n \left(\sin \varphi \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{n} - \cos \varphi \frac{1}{n} \right) = \sin \varphi \sqrt{n^2 - 1} - \cos \varphi$$

Demak, tushish burchagi $\sin \alpha = \sin \varphi \sqrt{n^2 - 1} - \cos \varphi$ yoki $\alpha = \arcsin (\sin \varphi \sqrt{n^2 - 1} - \cos \varphi)$ formuladan topilar ekan.

Ixtiyoriy qavariq to'rtburchakning ichki burchaklari yig'indisi 360° ga tengligidan 1 nur va 1" yeh orasidagi burchak γ ni topa olamiz.

$$\angle A + \angle B + \angle C + \angle D = 2\pi, \rightarrow \alpha + \frac{\pi}{2} + (\pi - \gamma) + (\pi - \varphi) = 2\pi, \rightarrow \gamma = \frac{\pi}{2} + \alpha - \varphi$$

Demak, uchburchakli prizmaning birinchi yog'iga quyidagicha burchak ostida nur tushganda, ikkinchi yog'idan nur tashqariga chiqmas ekan (38.3-rasm):



38.3-rasm

$$\begin{cases} \sin \alpha = \sqrt{n^2 - 1} \cdot \sin \varphi - \cos \varphi \\ \gamma = \frac{\pi}{2} + \alpha - \varphi \end{cases}$$

Agar 38.3-rasmda nur B nuqtaga to'la ichki qaytish burchagining chegaraviy qiymatidan katta burchak ostida tushsa, u holda B nuqta 1' nur uchun ko'zgu vazifasini o'taydi. Natijada to'la ichki qaytish hodisasi sodir bo'lib, 1' nur prizma asosidagi E nuqtaga kelib tushadi. Bu nuqtada ham nur sinib tashqariga chiqadi (38.4-rasm).

$$\beta' + \beta = \varphi$$

ekanligidan

$$\beta' = \varphi - \beta = \varphi - \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{n}\right)$$

kelib chiqadi. $\triangle BEF$ ning ichki burchaklari yig'indisi 180° ga teng.

$$(\pi/2 - \beta') + (\pi/2 - \beta'') + (\pi/2 - \varphi/2) = \pi, \rightarrow \beta'' = \pi/2 - (\varphi/2 + \beta')$$

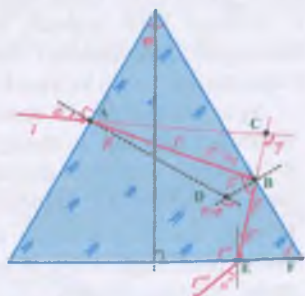
Sinush qonunidan

$$\alpha'' = \arcsin(n \sin \beta'')$$

kelib chiqadi.

Demak, $\beta' > \alpha_0$ bo'lganda, β', β'' va α'' burchaklar quyidagicha bo'lar ekan (38.4-rasm):

$$\begin{cases} \beta' = \varphi - \beta = \varphi - \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{n}\right) \\ \beta'' = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{\varphi}{2} + \beta'\right) \\ \alpha'' = \arcsin(n \sin \beta'') \end{cases}$$



38.4-rasm

Nurning parallel plastinkadagi yo'li:

Agar shaffof yoqlari parallel plastinkaga tushsa nima bo'lishiga qiziqib ko'raylik. A nuqtadan kirgan nur 1 sinib platinkaning ikkinchi yog'iga C nuqta o'miga D nuqtaga tushadi. $\triangle ABC$ va $\triangle ABD$ lardan foydalanib, gorizont bo'yicha siljish $CD = x$ ni topish mumkin.

$$x = AB \lg \alpha - AB \lg \beta = AB(\lg \alpha - \lg \beta) = d \left(\lg \alpha - \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} \right) = d \left(\lg \alpha - \frac{\sin \alpha / n}{\sqrt{1 - (\sin \alpha / n)^2}} \right) = \left(\lg \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) d$$

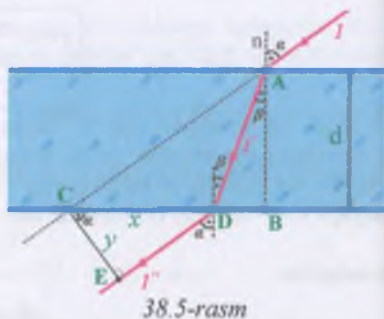
Nurning plastinkaga tushish burchagi plastinkadan chiqib ketish burchagiga teng. Singan 1' nur D nuqtadan havoga o'tib DE chiziqli bo'yicha 1' nur bo'lib tarqaladi. Bu erda 1' nur 1' nurga parallel bo'lib bu parallel nurlar orasidagi masofa $CE = y$ bo'ladi. $\triangle CDE$ dan bu siljish masofasi $CE = y$ ni topish mumkin.

$$y = x \cos \alpha = \left(\lg \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \cos \alpha d$$

Demak, qalinligi d va absolyut sindirish ko'rsatkichi n bo'lgan shisha plastinkaning

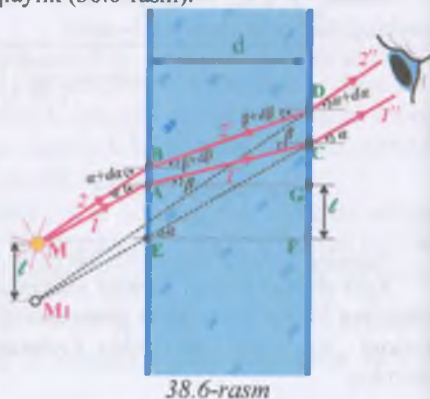
birinchi yog'iga agar nur α burchak ostida tushsa, nur ikkinchi yog'idan x masofaga siljigan holda va dastlabki yo'nalishidan y masofaga parallel siljigan holda chiqib ketar ekan. Bu siljishlar esa quyidagi formulalardan topilar ekan (38.5-rasm):

$$\begin{cases} x = \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) d \\ y = \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \cos \alpha d \end{cases}$$



Yuqoridagi rasm va formulalardan shunday xulosa qilish mumkin. Agar suvda biror d chuqurlikda, D nuqtada baliq turgan bo'lsa, uni tashqaridagi ovchi C nuqtada turibdi deb o'ylaydi va qo'lidagi nayzani C nuqtaga qaratib otadi. Xuddi ovchi kutganday nayza C nuqtaga kelib tushadi, lekin D nuqtadagi baliq seskanib qochib ketadi. Xuddi shuningdek, buyumlarga biror shaffof jism orqali qaralganda ham uning o'rni o'zgargandek bo'lib ko'rinadi. Bu siljishni aniqlik (38.6-rasm).

Agar kuzatuvchi M nuqtadagi yorug'lik manbaiga qalinligi d , absolyut nur sindirish ko'rsatkichi n bo'lgan shisha plastina orqali qarasa, kuzatuvchi manbani M_1 nuqtada ko'radi. Bunda manbadan chiqqan 1 va 2 nurlar plastinaga A va B nuqtalardan kirib unda sinadi. Singan $1'$ va $2'$ nurlar plastinaning ikkinchi yog'iga C va D nuqtalarda tushadi va bu nuqtalarda ikkinchi marta sinadi. Singan $1''$ va $2''$ nurlar kuzatuvchi ko'zi diapazoniga tushadi. $1'$ va $2'$ nurlarning teskari davomlari M_1 nuqtada kesishadi. Kuzatuvchi M manbani ana shu



M_1 nuqtada ko'radi. Bunda M va M_1 nuqtalar orasidagi masofa biz izlayotgan ko'rinma siljish masofasidir.

$$\begin{aligned} \ell = MM_1 = AE = FG = CF - CG = d \operatorname{tg} \alpha - d \operatorname{tg} \beta &= d \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \right) = d \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} \right) = d \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha / n}{\sqrt{1 - (\sin \alpha / n)^2}} \right) = \\ &= \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) d \end{aligned}$$

Demak, qalinroq shaffof jism orqali biror buyumga qaralganda, buyumning ko'rinma siljish masofasi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\ell = \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) d$$

Nurning shardagi yo'li:

Agar yorug'lik nuri shar shaklidagi shaffof jismga tushayotgan bo'lsa, u holda nima hodisa ro'y beradi? Bunda to'la ichki qaytish hodisasi ro'y beradimi? Shu savollarga javob izlab ko'raylik (38.7-rasm).

Teng yonli uchburchakning asosidagi burchaklari teng bo'ladi. $\triangle OAB$ da $OA=OB=R$ bo'lgani uchun $\beta'=\beta$ bo'ladi. Sinish qonuni

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha'}{\sin \beta'}$$

ga ko'ra $\alpha'=\alpha$ bo'ladi, ya'ni nur sharga qanday burchak ostida tushsa, xuddi shunday burchak ostida chiqib ketadi. $\triangle ABC$ dan $\angle CAB=\angle CBA=\alpha-\beta$ bo'ladi. Uchburchakning ixtiyoriy ikkita ichki burchagi uchinchi tashqi burchagiga teng bo'ladi. Shunga ko'ra $\gamma=\angle CAB+\angle CBA=2(\alpha-\beta)$ bo'ladi. Uchburchakning ichki burchaklar yig'indisi 180° ga tengligidan $\varphi=\pi-(\beta+\beta')=\pi-2\beta$ ifoda kelib chiqadi.

Shunday qilib, agar yorug'lik nuri shar shaklidagi shaffof jismga ixtiyoriy α burchak ostida tushayotgan bo'lsa, shardan chiqib ketish burchagi α' , nurning dastlabki yo'nalishdan og'ish burchagi γ va markaziy burchak φ quyidagicha bo'lar ekan:

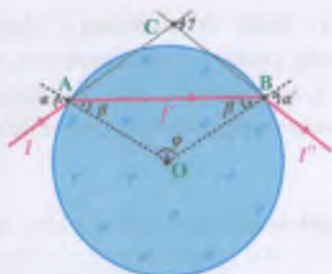
$$\begin{cases} \alpha'=\alpha \\ \gamma=2(\alpha-\beta) \\ \varphi=\pi-2\beta \end{cases}$$

Demak, yorug'lik nuri sharga ixtiyoriy burchak ostida kelib tushganda ham xuddi shu burchak ostida shardan chiqib ketar ekan va hech qachon chiqishda to'la ichki qaytish hodisasi kuzatilmaz ekan.

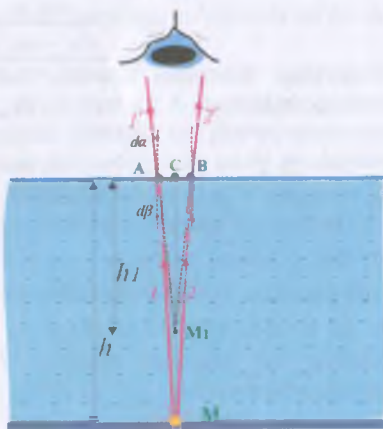
Nurning suyuqlikdagi yo'li, suyuqlikning ko'rinma chuqurligi:

Yorug'lik nuri havodan suyuqlik sirtiga biror burchak ostida tushganda, boshqa shaffof jismlardagi kabi singan nur normal tomonga og'adi. Ana shu og'ish tufayli suyuqlik ichida turgan jismlarga qaraganda uning geometrik o'rni o'zgargandek bo'lib tuyuladi. Suyuqlik tubiga qaraganda uning tubi yaqinlashgandek bo'lib ko'rinadi. Bunga bo'sh idishga suyuqlik to'ldirayotganda kuzatib ishonch hosil qilish mumkin. Suyuqlik ustuni oshgan sari idish tubi tobora yaqinlashib kela boshlaydi. Ana shu ko'rinma chuqurlikni aniqlaylik (38.8-rasm).

Ayaylik idishdagi suyuqlik ustunining balandligi h ga teng bo'lib, uning tubida M nuqtada yorug'lik manbai nur taratayotgan bo'lsin. Tepadan kuzatuvchi tik holda bu manbani kuzatayotgan bo'lsin. M nuqtadan taralayotgan nurlardan 2tasi 1 va 2 nurlar suyuqlik sathiga A va B nuqtalarga nisbatan kichik $d\beta$ burchak ostida tushadi va bu nuqtalarda $d\alpha$ ($d\alpha > d\beta$) burchak ostida sinadi. Singan 1' va 2' nurlar kuzatuvchi ko'zining ko'rish diapozoniga tushadi. Singan 1' va 2' nurlarning teskari davomlari M_1 nuqtada kesishadi. Kuzatuvchi yorug'lik manbaini ana shu M_1 nuqtada ko'radi. Kuzatuvchi



38.7-rasm



38.8-rasm

ko'zining old qismining o'lchami taxminan $\ell = 1,2-1,8\text{sm}$ bo'lib bu masofa kuzatuvchini eng yaxshi ko'rish masofasi $L_0 = 25\text{sm}$ dan turib qaraganda ham ancha farq qiladi, ya'ni $L_0 \gg \ell$ bo'ladi. Shu boisdan ham $d\alpha$ va $d\beta$ burchaklarni ko'pi bilan $4-5^\circ$ dan oshmaydigan kichik burchaklar deb hisoblash mumkin. Kichik burchaklarda esa

$$\begin{cases} \operatorname{tg}(d\alpha) \approx \sin(d\alpha) \\ \operatorname{tg}(d\beta) \approx \sin(d\beta) \end{cases}$$

deb hisoblash mumkin. ΔMAC va $\Delta M_1 AC$ uchburchaklardan

$$\begin{cases} \operatorname{tg}(d\beta) = \frac{AC}{CM} = \frac{AC}{h} \approx \sin(d\beta) \\ \operatorname{tg}(d\alpha) = \frac{AC}{CM_1} = \frac{AC}{h_1} \approx \sin(d\alpha) \end{cases}$$

bo'ladi. Bularning nisbati esa

$$n = \frac{\sin(d\alpha)}{\sin(d\beta)} = \frac{h}{h_1}$$

bo'ladi. Bundan

$$h_1 = \frac{h}{n}$$

kelib chiqadi. Demak, suyuqlikning ko'rinma chuqurligi aslidagidan n marta sayoz bo'lar ekan.

Shunday qilib, suyuqlik ustunining balandligi h bo'lgan suyuqlik tubiga tik holda qaraganda, uning ko'rinma chsqruligi h_1 quyidagicha bo'lar ekan (38.8-rasm):

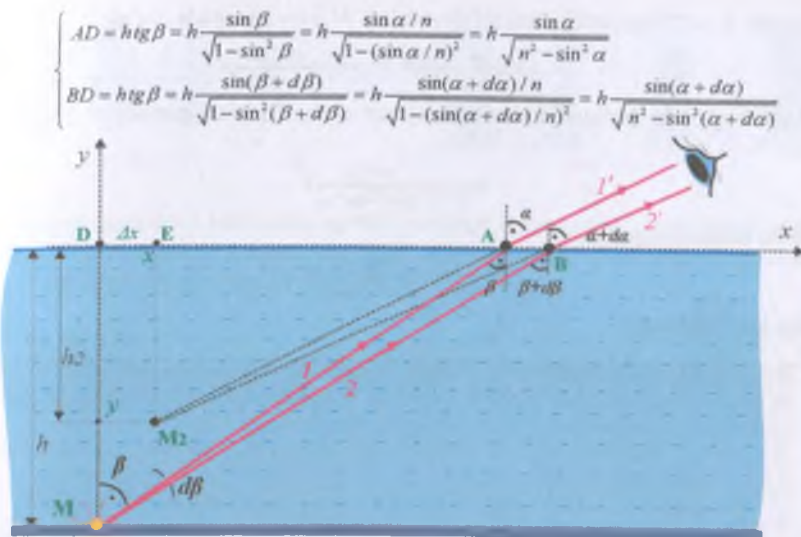
$$h_1 = \frac{h}{n}$$

Agar kuzatuvchi suyuqlik tubiga tepasidan turib emas, balki biror burchak ostida qiyalatib qarasa, u holda suyuqlik tubi yanada yaqinlashgandek bo'ladi. Undan tashqari geometrik soya sohadagi nuqtalarni ham ko'rish imkoni bo'ladi.

Suyuqlik sirtidan h chuqurlikdagi manba tashqaridagi kuzatuvchiga α burchak ostida ko'rinsa, suyuqlikning ko'rinma chuqurligi h_2 hamda gorizonta siljish Δx quyidagicha bo'ladi (38.9-rasm):

$$\Delta x = \frac{\sin^3 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h, \quad h_2 = \frac{\cos^3 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h$$

Yuqoridagi formulani isbotlab, keltirib chiqaramiz. Aytaylik idishdagi suyuqlik ustunining balandligi h ga teng bo'lib, uning tubida M nuqtada yorug'lik manbai nur taratayotgan bo'lsin. Bu nuqtadan chiqqan nurlardan 1 va 2 nurlar suyuqlik sathiga A va B nuqtalarga β va $\beta + d\beta$ burchak ostida tushadi. So'ngra β va $\beta + d\beta$ burchak ostida siadi va singan 1' va 2' nurlar kuzatuvchi ko'zining ko'rish diapozoniga tushadi. Singan 1' va 2' nurlarning teskari davomlari M_2 nuqtada kesishadi. Kuzatuvchi ko'zining old qismining o'lchami taxminan $\ell = 1,2-1,8\text{sm}$ bo'lib, bu masofa kuzatuvchi eng yaxshi ko'rish masofasi $L_0 = 25\text{sm}$ dan turib qaraganda ham ancha farq qiladi, ya'ni $L_0 \gg \ell$ yoki $h \gg AB$ bo'ladi. Shu boisdan ham $d\alpha$ va $d\beta$ burchaklar $1-2^\circ$ dan oshmaydigan kichik burchaklar deb hisoblash mumkin. 1 va 2 nurlarning suyuqlik sathini kesadigan nuqtalarigacha masofalar AD va BD ni berilgan h va α kattaliklar orqali ifodalaymiz.



38.9-rasm

D nuqtani markaz qilib Dekart koordinatalar sistemasini o'tkazamiz va bu koordinatalar sistemasida singan 1' va 2' nurlarning $y = kx + b$ ko'rinishidagi to'g'ri chiziq tenglamasini yozamiz.

$$\begin{cases} y = k_1 x + b_1 = \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) x + b_1 = \operatorname{ctg} \alpha x + b_1 \\ y = k_2 x + b_2 = \operatorname{tg}(90^\circ - (\alpha + d\alpha)) x + b_2 = \operatorname{ctg}(\alpha + d\alpha) x + b_2 \end{cases}$$

$y=0$ da bu to'g'ri chiziqlar Ox o'qi bilan kesishadi, shundan b_1 va b_2 ozod sonlarni topamiz.

$$\begin{cases} \operatorname{ctg} \alpha \cdot AD + b_1 = 0 \\ \operatorname{ctg}(\alpha + d\alpha) \cdot BD + b_2 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} b_1 = -\operatorname{ctg} \alpha \cdot AD = -\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot h \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = -\frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h \\ b_2 = -\operatorname{ctg}(\alpha + d\alpha) \cdot BD = -\frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha)} h \frac{\sin(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} = -\frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h \end{cases}$$

Demak, 1' va 2' nurlarning to'g'ri chiziq tenglamalari quyidagi ko'rinishda bo'lar ekan:

$$\begin{cases} y = \operatorname{ctg} \alpha x + b_1 = \operatorname{ctg} \alpha x - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} x - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h \\ y = \operatorname{ctg}(\alpha + d\alpha) x + b_2 = \operatorname{ctg}(\alpha + d\alpha) x - \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h = \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha)} x - \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h \end{cases}$$

Bu to'g'ri chiziqlar kesishgan nuqtaning koordinatalari biz izlayotgan kattaliklardir. Grafiklar kesishganda esa ularning koordinatalari tenglashadi.

$$\begin{aligned} \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} x - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h &= \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha)} x - \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h, \rightarrow \frac{\sin(\alpha + d\alpha) \cdot \cos \alpha - \cos(\alpha + d\alpha) \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + d\alpha) \cdot \sin \alpha} x = \\ &= \left[\frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} - \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} \right] h, \rightarrow \frac{\sin(\alpha + d\alpha - \alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha) \cdot \sin \alpha} x = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h, \rightarrow \\ \frac{\sin d\alpha}{\sin^2 \alpha} x &\approx \frac{\cos \alpha - \cos \alpha \cdot \cos d\alpha + \sin \alpha \cdot \sin d\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h, \rightarrow \frac{\sin d\alpha}{\sin^2 \alpha} x = \frac{\sin \alpha \cdot \sin d\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h, \rightarrow x = \frac{\sin^2 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h, \rightarrow \\ y &= \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} x - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \frac{\sin^2 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h = \frac{\cos \alpha (\sin^2 \alpha - 1)}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h = -\frac{\cos^3 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h. \end{aligned}$$

Demak, 1' va 2' nurlarning teskari davomlari $M_2(x; y)$ nuqtada, ya'ni

$$x = -\frac{\sin^3 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h \quad \text{va} \quad y = -\frac{\cos^3 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h$$

koordinatalarga ega bo'lgan nuqtada kesishar ekan. Bundan gorizontal yo'nalishdagi siljish

$$\Delta x = x = -\frac{\sin^3 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h$$

hamda ko'rinma chuqurlik

$$h_2 = -y = \frac{\cos^3 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} h$$

ekanligi kelib chiqadi.



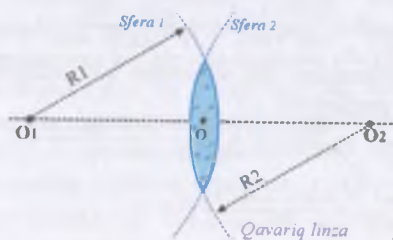
1. Yorug'lik nuri uchburchakli prizmadan o'tganda qaysi tomonga qarab og'adi.
2. Yorug'lik nurining uchburchakli prizmadan o'tganda qanday burchak bilan chiqishini va dastlabki yo'nalishdan qanchaga og'ishini yozib bering.
3. Qanday shart bajarilganda uchburchakli prizmaning ikkinchi yog'ida to'la ichki qaytishning chegaraviy holati kuzatiladi.
4. Nurning parallel plastinkadagi yo'lini chizib bering va siljishlarni yozing.
5. Buyumga qalinroq shisha plastinka bilan qaralganda uning o'rti qanchaga siljigandek ko'rinadi.
6. Nurning shisha shardagi yo'lini chizing. Bunda chiqish burchagi qanday bo'ladi, to'la ichki qaytish kuzatiladimi?
7. Suyuqlikli idish tubiga tepadan qaralganda ko'rinma chuqurlik qanday bo'ladi?
8. Suyuqlikli idish tubiga qiya burchak ostida qaralganda ko'rinma chuqurlik gorizontal siljish qanday bo'ladi?



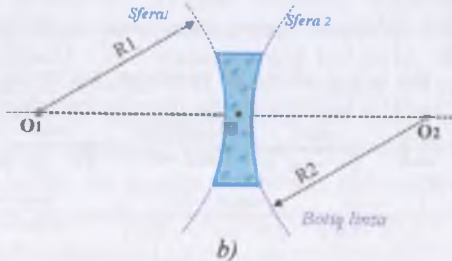
§ 39. LINZALAR VA UNING TURLARI. NURNING LINZADAGI YO'LI. LINZADA TASVIR YASASH. YUPQA LINZA FORMULASI. LINZA FORMULASIDAN KELIB CHIQUADIGAN NATIJALAR.

Linza va uning turlari:

Ikkita sferik sirt bilan chegaralangan shaffof muhitga **linza** deyiladi. Linzaning botiq va qavariq turlari bor. Agar ikki sfera kesishgan soha shaffoof muhit bo'lsa, bunday linza **qavariq linza** bo'ladi (39.1-a, rasm). Agar ikki sfera kesishmasa, ular orasidagi shaffof muhit **botiq linza**ni hosil qiladi (39.1-b, rasm).



a)



b)

39.1-rasm

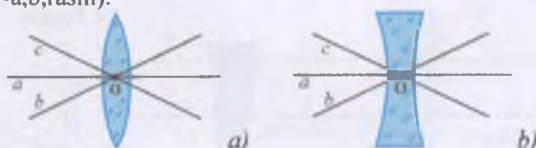
Botiq linzaning o'rta qismi chetki qismidan yupqaroq bo'ladi (39.2-a, rasm). Qavariq linzaning o'rta qismi chetki qismidan qalinroq bo'ladi (39.2-b, rasm).



39.2-rasm

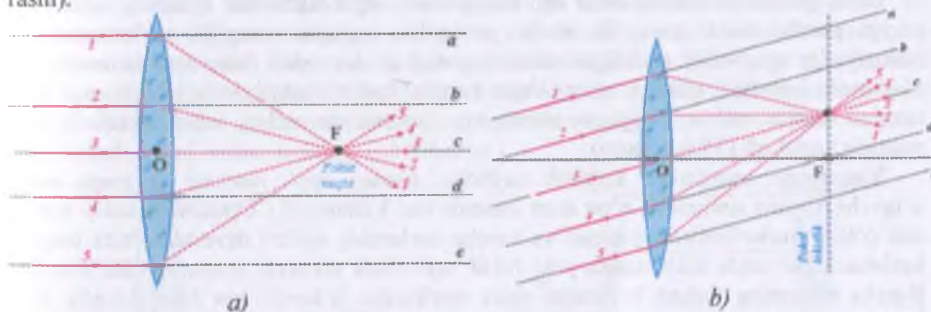
Linza qavariqlik markazini *egrilik markazi*, simmetriya o'qini *bosh optik o'q* deyiladi. Linza markazi O nuqtani esa *optik markaz*, optik markaz orqali o'tuvchi har qanday o'qni *optik o'q* deyiladi (39.3-a,b,rasm).

O – optik markaz;
 b, c – optik o'qlar;
 a – bosh optik o'q.



39.3-rasm

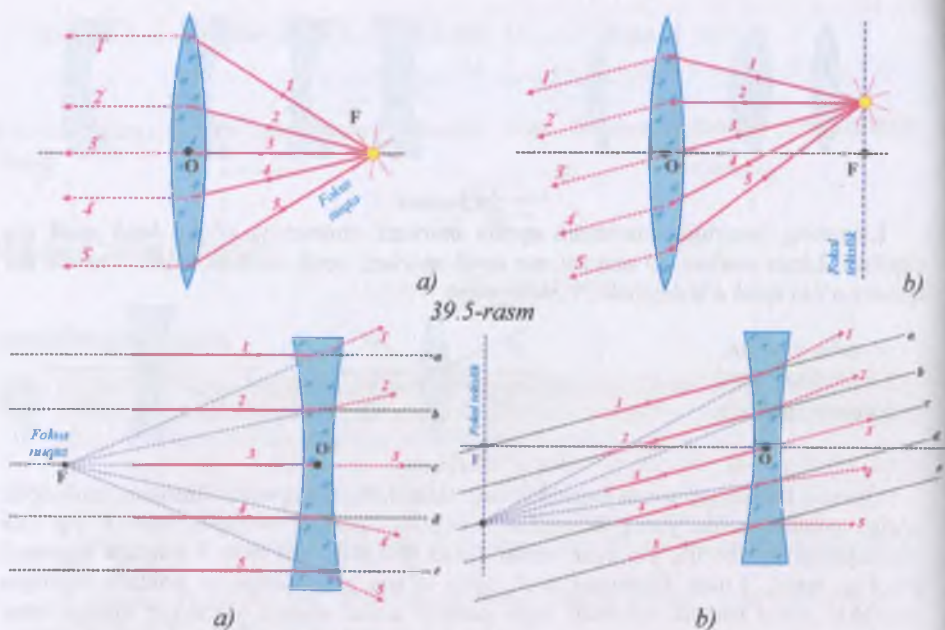
Qavariq linzani *yig'uvchi linza* deb ham ataladi. Agar yig'uvchi linza bosh optik o'qiga parallel holda yorug'lik nurlari tushirilsa, qaytgan yorug'lik nurlari yig'ilish xususiyatiga ega bo'lib, yig'ilgan nurlar *fokus* deb ataluvchi bitta F nuqtada kesishadi (39.4-a, rasm). Linza fokusidan bosh optik o'qqa perpendikulyar holda o'tkazilgan tekislikni *fokal tekislik* deyiladi. Agar parallel nurlar dastasi yig'uvchi linzaga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlar fokal tekislikda bitta nuqtada kesishadi (39.4-b, rasm).



39.4-rasm

Yuqoridagi rasmlardan ko'rinib turibdiki, linzani optik markazi O nuqta orqali o'tuvchi nurgina sinmasdan o'tar ekan (rasmda nur 3 sinmaydi). Optik markazdan uzoroq dan o'tgan nurlar kuchliroq sinadi va barcha nurlar bitta nuqtada kesishadi. Bu nuqta fokus nuqta yoki fokal tekislikda yotuvchi nuqta bo'lishi mumkin. Barcha nurlar optik markazdan o'tuvchi nur fokal tekislik bilan kesishadigan nuqtaga yig'iladi. Bundan shunday savol tug'iladi:

Yig'uvchi linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasi fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig'ilar ekan, yorug'lik manbaini fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylasak nima bo'ladi? – Bunda quyidagi rasmda ko'rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi.



39.5-rasm

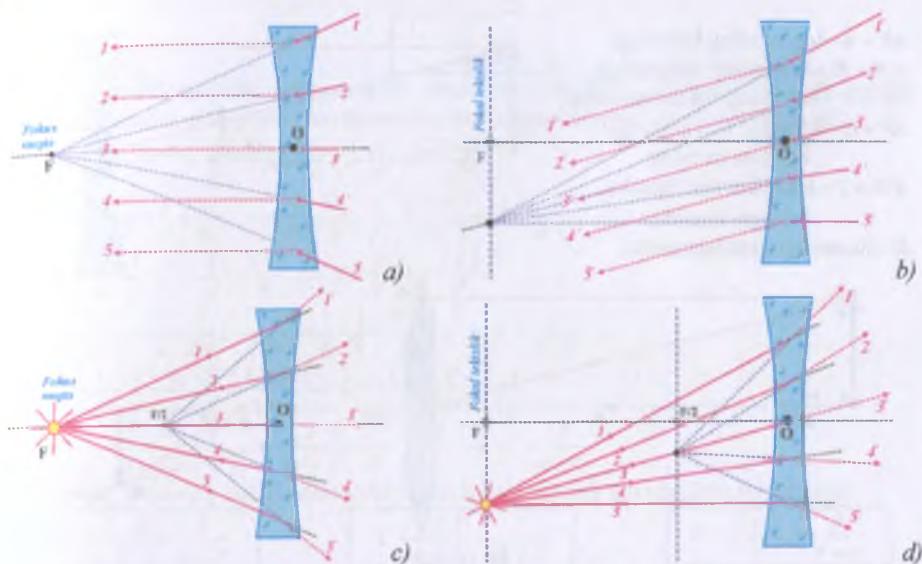
39.6-rasm

Botiq linzani **sochuvchi linza** deb ham ataladi. Agar sochuvchi linzaning bosh optik o'qiga parallel holda yorug'lik nurlari tushirilsa, qaytgan yorug'lik nurlari sochilish xususiyatiga ega bo'lib, sochilgan nurlarning teskari davomlari **fokus** deb ataluvchi bitta F nuqtada kesishadi (39.6-a, rasm). Agar parallel nurlar dastasi sochuvchi linzaga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlarning teskari davomlari fokal tekislikda bitta nuqtada kesishadi (39.6-b, rasm).

Yuqoridagi rasmlardan ko'rinib turibdiki, linzani optik markazi O nuqta orqali o'tuvchi nurgina sinmasdan o'tar ekan (rasmda nur 3 sinmaydi). Optik markazdan uzoroq dan o'tgan nurlar kuchliroq sinadi va barcha nurlarning teskari davomlari bitta nuqtada kesishadi. Bu nuqta fokus nuqta yoki fokal tekislikda yotuvchi nuqta bo'lishi mumkin. Barcha nurlarning teskari davomlari optik markazdan o'tuvchi nur fokal tekislik bilan kesishadigan nuqtaga yig'iladi. Bundan shunday savol tug'iladi:

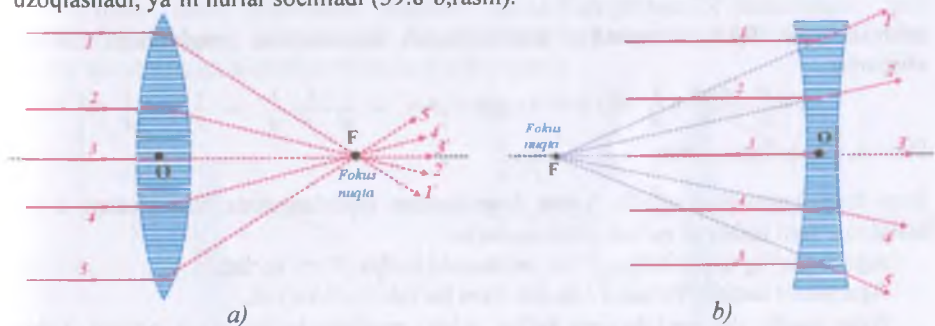
Sochuvchi linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasining teskari davomlari fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig'ilar ekan, yorug'lik nurlarini fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga yo'naltirsak nima bo'ladi? – Bunda 39.7-a, b rasmda ko'rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi.

Agar yorug'lik manbai sochuvchi linzaning fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylashtirilsa nima bo'ladi?– Bunda nurlar linzada kuchli sochiladi, sochilgan nurlarning teskari davomlari fokus masofaning yarmida, ya'ni $F/2$ nuqtada yoki shu nuqtadan bosh optik o'qqa perpendikulyar o'tuvchi tekislikda biror nuqtada to'planadi (39.7-a, b rasm).



39.7-rasm

Linzaning nuri yig'ish yoki sochish sababini quyidagicha tushuntiramiz. Linzani xayolan cheksiz ko'p sondagi trapetsiyali prizmalarga ajrataylik. 38.1-b, rasmda singan nur trapetsiyaning katta asosi tomon og'ganligi tasvirlangan. Linzadagi har bir trapetsiyachada singan nur katta asos tomon og'adi. Qavariq linzada trapetsiyachalarning katta asoslari bosh optik o'qqa yaqin, shuning uchun singan nur bosh optik o'qqa tomon og'adi, ya'ni nurlar yig'iladi (39.8-a, rasm). Botiq linzada esa trapetsiyachalarning katta asoslari bosh optik o'qdan uzoqda, shuning uchun singan nur bosh optik o'qdan uzoqlashadi, ya'ni nurlar sochiladi (39.8-b, rasm).



39.8-rasm

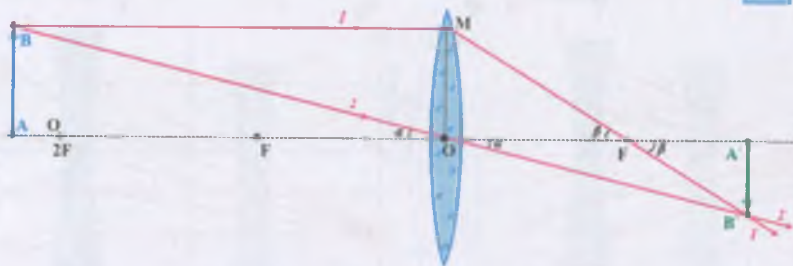
Yupqa linza formulasi, linzaning kattalashtirishi:

Yupqa linza formulasini keltirib chiqarishdan oldin ba'zi belgilashlar kiritib olaylik.

$AB = h$ – buyumning balandligi;
 $A'B' = H$ – tasvirning balandligi;
 $OF = F$ – linzaning fokus masofasi;
 $AP = d$ – linzadan buyumgacha bo'lgan masofa;
 $A'O = f$ – linzadan tasvirgacha bo'lgan masofa;
 K – linzaning kattalashtirishi.



a)



b)

39.10-rasm

39.10-a, b rasmlardan foylanib linza formulasini hosil qilamiz. $\triangle ABO$ va $\triangle A'B'O$ lardan

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{AP} = \frac{h}{d} \\ \operatorname{tg} \alpha = \frac{A'B'}{A'P} = \frac{H}{f} \end{cases} \Rightarrow \frac{h}{d} = \frac{H}{f}, \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = K$$

kelib chiqadi. $\triangle MOF$ va $\triangle A'B'F$ lardan

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \beta = \frac{MN}{FN} = \frac{AB}{FP} = \frac{h}{F} \\ \operatorname{tg} \beta = \frac{A'B'}{A'F} = \frac{H}{f-F} \end{cases} \Rightarrow \frac{h}{F} = \frac{H}{f-F}, \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = K$$

kelib chiqadi. Ikkita sistemadagi kattalashtirish formulalarini tenglashtirib natijaga erishamiz.

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = \frac{f}{d}, \rightarrow fd - Fd = fF \quad (: fFd), \rightarrow \frac{1}{F} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d}, \rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$$

Demak, yupqa linza uchun $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$

linza formulasini hosil qildik. Linza formulasidan foydalanganda, formuladagi d, f, F kattaliklar turli ishoralar qabul qilish mumkin.

Agar linza yig'uvchi bo'lsa $F > 0$, sochuvchi bo'lsa $F < 0$ bo'ladi.

Agar tasvir haqiqiy bo'lsa $f > 0$, mavhum bo'lsa $f < 0$ bo'ladi.

Agar manba (buyum) haqiqiy bo'lsa $d > 0$, mavhum bo'lsa $d < 0$ bo'ladi. Lekin, mavhum manba masalalarda umuman uchramaydi.

Yig'uvchi va sochuvchi linzalar uchun linza formulari quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Yig'uvchi linzada, $d > F$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

Yig'uvchi linzada $d < F$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

Sochuvchi linza

Tasvir o'lchamining buyum o'lchamiga nisbatiga teng kattalikka linzaning kattalashtirishi deyiladi.

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

Linza kattalashtirishini fokus masofa orqali ham ifodalash mumkin. Har bir holatda kattalashtirishni topish uchun shu holatlar uchun linza formulasidan foydalanamiz.

$$1) \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{K}{f} + \frac{1}{f} = \frac{K+1}{f}, \rightarrow K = \frac{f}{F} - 1 = \frac{f-F}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{Kd}, \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d-F}{Fd}, \rightarrow K = \frac{F}{d-F}$$

$$2) \frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{K}{f} - \frac{1}{f} = \frac{K-1}{f}, \rightarrow K = \frac{f}{F} + 1 = \frac{f+F}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d} - \frac{1}{Kd}, \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{d} - \frac{1}{F} = \frac{F-d}{Fd}, \rightarrow K = \frac{F}{F-d}$$

$$3) \frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f} - \frac{K}{f} = \frac{1-K}{f}, \rightarrow K = 1 - \frac{f}{F} = \frac{F-f}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f} - \frac{1}{Kd}, \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{f} - \frac{1}{F} = \frac{d+F}{Fd}, \rightarrow K = \frac{F}{d+F}$$

Demak, linzaning kattalashtirishini fokus masofa orqali quyidagicha bo'lar ekan:

$$K = \frac{f-F}{F} = \frac{F}{d-F}$$

yig'uvchi linzada, $d > F$

$$K = \frac{f+F}{F} = \frac{F}{F-d}$$

yig'uvchi linzda $d < F$

$$K = \frac{F-f}{F} = \frac{F}{F+d}$$

sochuvchi linza

Linza-tasvir orasidagi masofa f va linza-buyum orasidagi masofa d larni kattalashtirish K orqali ifodalash quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} f = (K+1)F \\ d = \frac{K+1}{K}F \end{cases}$$

yig'uvchi linzada, $d > F$

$$\begin{cases} f = (K-1)F \\ d = \frac{K-1}{K}F \end{cases}$$

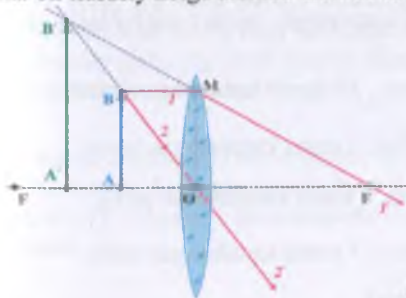
yig'uvchi linzada, $d < F$

$$\begin{cases} f = (1-K)F \\ d = \frac{1-K}{K}F \end{cases}$$

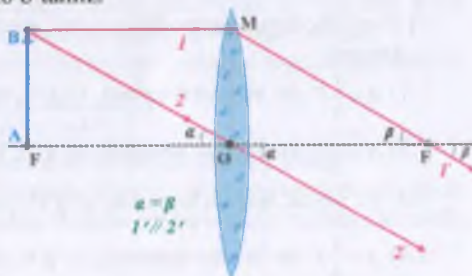
sochuvchi linza

Yig'uvchi linzada tasvir yasash va yig'uvchi linza uchun xususiy holar:

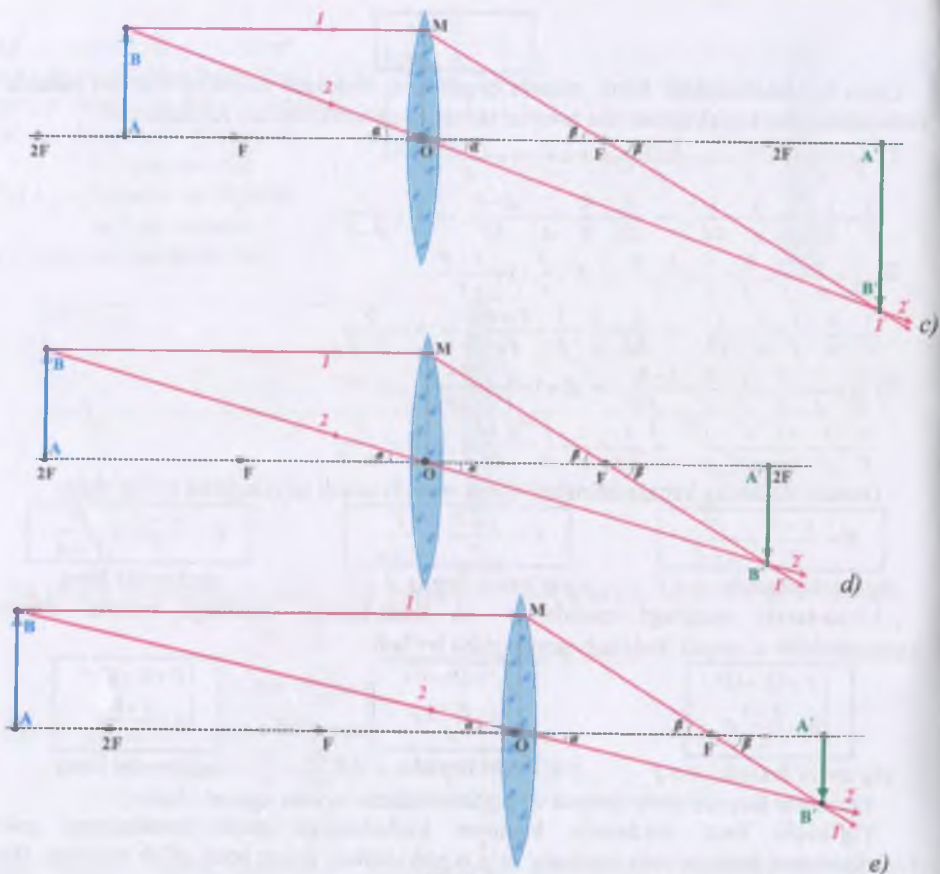
Yig'uvchi linza yordamida buyumni joylashishiga qarab kattalashgan yoki kichiklashgan, haqiqiy yoki mavhum, to'g'ri yoki teskari tasvir hosil qilish mumkin. Biz har bir xususiy holga alohida-alohida to'xtalib o'tamiz.



a)



b)



39.11-rasm

1) $d < F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, kattalashgan tasvir hosil bo'ladi (39.11-a, rasm).

1.1) $d = \frac{1}{3}F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 1,5 marta kattalashgan tasvir.

1.2) $d = \frac{1}{2}F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 2 marta kattalashgan tasvir.

1.3) $d = \frac{2}{3}F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 3 marta kattalashgan tasvir.

1.4) $d = \frac{3}{4}F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 4 marta kattalashgan tasvir.

2) $d = F$ da: tasvir hosil bo'lmaydi (39.11-b, rasm).

3) $F < d < 2F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, kattalashgan tasvir hosil bo'ladi (39.11-c, rasm).

3.1) $d = \frac{5}{3}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kattalashgan.

3.2) $d = \frac{3}{2}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 2 marta kattalashgan.

3.3) $d = \frac{4}{3}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 3 marta kattalashgan.

3.4) $d = \frac{5}{4}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 4 marta kattalashgan.

4) $d = 2F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, teng tasvir hosil bo'ladi (39.11-d,rasm).

5) $d > 2F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, kichiklashgan tasvir hosil bo'ladi (39.11-e,rasm).

5.1) $d = \frac{5}{2}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kichiklashgan tasvir.

5.2) $d = 3F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 2 marta kichiklashgan tasvir.

5.3) $d = 4F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 3 marta kichiklashgan tasvir.

5.4) $d = 5F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 4 marta kichiklashgan tasvir.

Yig'uvchi linzada tasvir va buyum orasidagi minimal masofani aniqlaylik. Tasvir va buyum orasidagi masofa

$$\ell = d + f = d + \frac{dF}{d-F} = \frac{d^2}{d-F}$$

formuladan topiladi. Demak, erkli o'zgaruvchisi d bo'lgan bir o'zgaruvchili

$$\ell(d) = \frac{d^2}{d-F}$$

funksiya hosil bo'ldi. Bu funksiyaning ekstremum nuqtalarini topish uchun erkli o'zgaruvchi bo'yicha hosila nolga tenglanadi.

$$\ell'(d) = \left(\frac{d^2}{d-F} \right)' = \frac{2d \cdot (d-F) - 1 \cdot d^2}{(d-F)^2} = \frac{d^2 - 2dF}{(d-F)^2} = 0, \rightarrow d \cdot (d-2F) = 0, \rightarrow \begin{cases} d=0 \\ d=2F \end{cases}$$

Bu ikki javobdan faqat $d = 2F$ ni tanlaymiz. Bunda tasvirgacha masofa

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{2FF}{2F-F} = 2F$$

hosil bo'ladi. Demak, tasvir va buyum orasidagi eng qisqa masofa

$$\ell = d + f = 2F + 2F = 4F$$

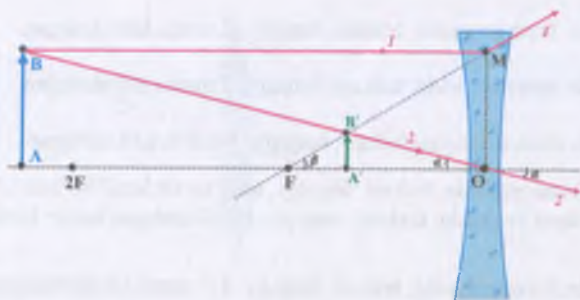
bo'lar ekan. Bu holat buyum linzaning ikkilangan fokus masofasiga qo'yilganda sodir bo'lib, bunda linzaning orqa ikkilangan fokus masofasida teng tasvir hosil bo'ladi.

Shunday qilib, yig'uvchi linzada olingan tasvir va buyum orasidagi masofa eng kamida quyidagicha bo'lishi mumkin ekan:

$$\ell_{\min} = d + f = 4F$$

Sochuvchi linzada tasvir yasash va sochuvchi linza uchun xususiy holar:

Sochuvchi linza yordamida faqat kichiklashgan, to'g'ri, mavhum tasvir hosil qilish mumkin (39.12-rasm). Biz sochuvchi linza uchun ham bir necha xususiy hollarga to'xtalib o'tamiz.



39.12-rasm

- 1) $d \approx 0$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, taxminan teng tasvir hosil bo'ladi.
 - 2) $d = \frac{1}{2}F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 1,5 marta kichik tasvir.
 - 3) $d = F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 2 marta kichik tasvir.
 - 4) $d = 2F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 3 marta kichik tasvir.
 - 5) $d = 3F$ da: buyum tomonda, to'g'ri, mavhum, 4 marta kichik tasvir.
- Cheksizlikda turgan buyumning sochuvchi linzadagi tasviri mavhum nuqtaga aylanadi.

1. Linza deb nimaga aytiladi? Linzaning qanday turlari bor?
2. Optik o'q, bosh optik o'q, fokus masofa va fokal tekisliklarga ta'rif bering..
3. Yig'uvchi linzada tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo'ladi?
4. Sochuvchi linzada tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo'ladi?
5. Yig'uvchi va sochuvchi linzalar uchun linza formulalarini yozing.
6. Yig'uvchi va sochuvchi linzalar uchun kattalashtirish formulalarini yozing.
7. Yig'uvchi linza uchun xususiy hollarni tasvirlab bering.
8. Sochuvchi linza uchun xususiy hollarni tasvirlab bering.



§ 40. OPTIK KUCHI. LINZA OPTIK KUCHINING MATERIAL TURI VA GEOMETRIK O'LCHAMLARIGA BOG'LIQLIGI.

Linzaning fokus masofasi qancha kichik bo'lsa, uning nur sindirish qobiliyati shuncha katta bo'ladi, ya'ni singan nur shuncha katta burchakka og'adi. Boshqacha aytganda fokus masofasi kichik linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasi shunchalik yaqinda to'planadi. Fokus masofasi katta bo'lgan linzada esa hammasi aksincha bo'ladi. Linzaning bunday xususiyatini xarakterlash uchun fokus masofaga teskari kattalik kiritiladi. Bu kattalik linzaning optik kuchi deyiladi va D bilan belgilanadi.

$$D = \frac{1}{F}$$

Linza fokus masofasiga teskari bo'lgan kattalikka linzaning optik kuchi deyiladi. Optik kuchi kattaroq bo'lgan linza nurning yo'nalishini keskinroq o'zgartiradi.

Fokus masofasi 1m bo'lgan linzaning optik kuchi 1 dioptriya (dptr) ga teng.

$$1 \text{ dptr} = \frac{1}{1 \text{ m}}$$

Demak, oldingi mavzudagi linza formulalarini quyidagicha ham yozish mumkin ekan.

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

$$D = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

yig'uvchi linzada, $d > F$

yig'uvchi linzada, $d < F$

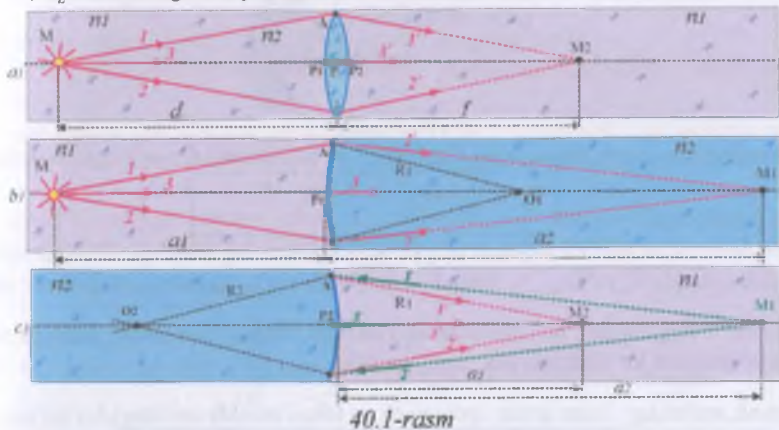
sochuvchi linza

Oldingi mavzularda linzaning fokus masofasi va uning optik kuchini tajriba (parallel nurlar dastasini fokuslash) yordamida aniqlash mumkinligi aytiladi. Lekin, bu kattaliklarni linzaning geometrik o'lchamlari va material turi orqali ham aniqlash mumkin.

Vakuumdagi linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo'ladi:

$$D = (n_L - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad F = \frac{R_1 R_2}{(n_L - 1)(R_1 + R_2)}$$

Bu yerda: D – linzaning optik kuchi [$1/\text{m} = \text{dioptriya}$]; R_1, R_2 – linza sferalari egrilik radiuslari; n_L – linzaning absolyut nur sindirish ko'rsatkichi.

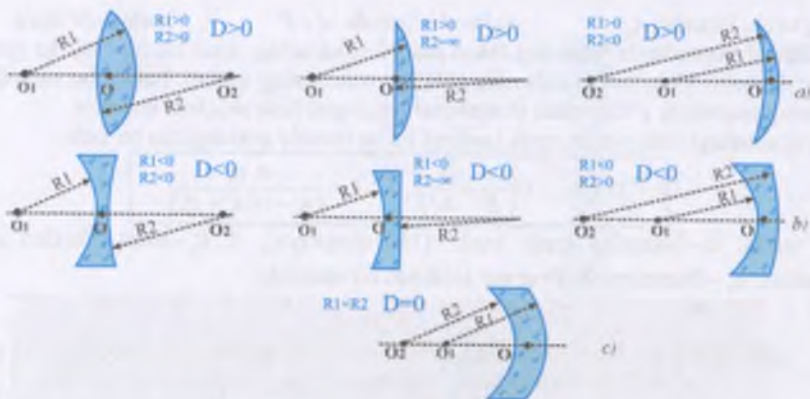


Yuqorida chiqarilgan formula ikki tomonlama qavariq linza uchun o'rinli. Agar linzaning botiq sirti ham mavjud bo'lsa, u holda $R < 0$ deb olinadi. O'rtasi chetlariga nisbatan qalinroq linzalarda qavs ichidagi ifoda musbat $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} > 0 \right)$ bo'ladi, va demak,

linzaning optik kuchi ham musbat ($D > 0$) bo'ladi. Bunday linzalar nurni yig'ish xususiyatga ega bo'ladi. O'rtasi chetlariga nisbatan yupqaroq linzalarda qavs ichidagi ifoda manfiy $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} < 0 \right)$ bo'ladi, va demak, linzaning optik kuchi ham manfiy ($D < 0$)

bo'ladi. Bunday linzalar nurni sochish xususiyatga ega bo'ladi. Qalinligi bir xil bo'lgan boti-qavariq linzalarda esa qavs ichidagi ifoda nol $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = 0 \right)$ yoki $R_1 = R_2$ bo'ladi, va

demak, linzaning optik kuchi ham nol ($D = 0$) bo'ladi. Bunday linzalar nur yo'nalishini o'zgartirmaydi, ya'ni nur linzadan sinmasdan o'tadi (40.2-rasm).



40.2-rasm

Vakuumdagi simmetrik linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo'ladi:

$$D = (n_L - 1) \frac{2}{R}, \quad F = \frac{R}{2(n_L - 1)}$$

Agar linza biror shaffof muhitda turgan bo'lsa, linzaning muhitga nisbatan nisbiy nur sindirish ko'rsatkichi, ya'ni $n = \frac{n_L}{n_M}$ olinadi. Linza muhitda bo'lganda, absolyut nur sindirish ko'rsatkichi o'rniga nisbiy nur sindirish ko'rsatkichi olinadi. Linzaning muhitga nisbatan nisbiy nur sindirish ko'rsatkichi esa $n = \frac{n_L}{n_M}$ ga teng.

Demak, muhitdagi linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo'lar ekan:

$$D = \left(\frac{n_L}{n_M} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad F = \frac{R_1 R_2}{\left(\frac{n_L}{n_M} - 1 \right) (R_1 + R_2)}$$

Bu yerda: n_M —muhitning absolyut nur sindirish ko'rsatkichi.

Vakuumdagi simmetrik linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo'ladi:

$$D = \left(\frac{n_L}{n_M} - 1 \right) \frac{2}{R}, \quad F = \frac{R}{2 \left(\frac{n_L}{n_M} - 1 \right)}$$

Linzani muhitga kiritilganda fokus masofasi qanday o'zgarishini qarab ko'raylik. Dastlab linza vakuumda turganda fokus masofa

$$F_1 = \frac{R_1 R_2}{(n_L - 1)(R_1 + R_2)}$$

ga teng bo'ladi. So'ngra, linzani biror shaffof muhitga o'tkazilganda fokus masofa

$$F_2 = \frac{R_1 R_2}{\left(\frac{n_L}{n_M} - 1 \right) (R_1 + R_2)}$$

ga teng bo'ladi. Bu ikkita fokus masofasining nisbati

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{n_L - 1}{\frac{n_L}{n_M} - 1}$$

ga teng bo'ladi. Bundan

$$F_2 = \frac{n_l - 1}{n_m - 1} F_1$$

kelib chiqadi.

Demak, absolyut sindirish ko'rsatkichi n_l bo'lgan yig'uvchi linzaning fokus masofasi F_1 bo'lsa, bu linzani sindirish ko'rsatkichi n_m bo'lgan muhitga kiritganda fokus masofa F_2 quyidagicha bo'ladi:

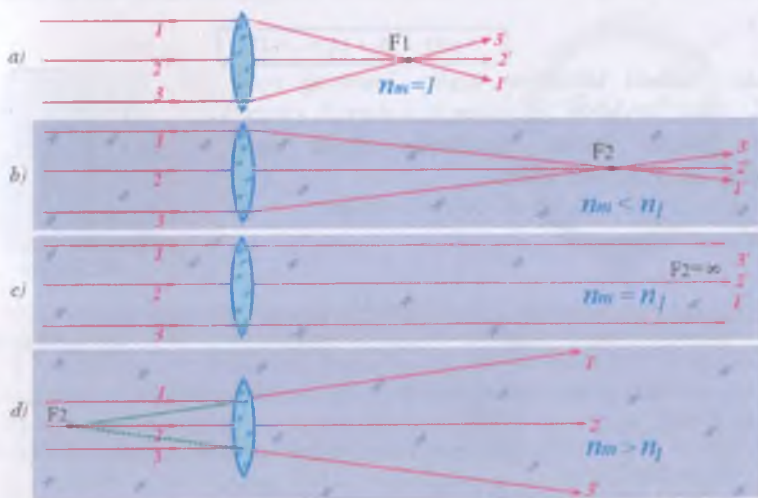
$$F_2 = \frac{n_l - 1}{n_m - 1} F_1$$

Yuqoridagi formulalardan quyidagi xulosalarga ega bo'lamiz:

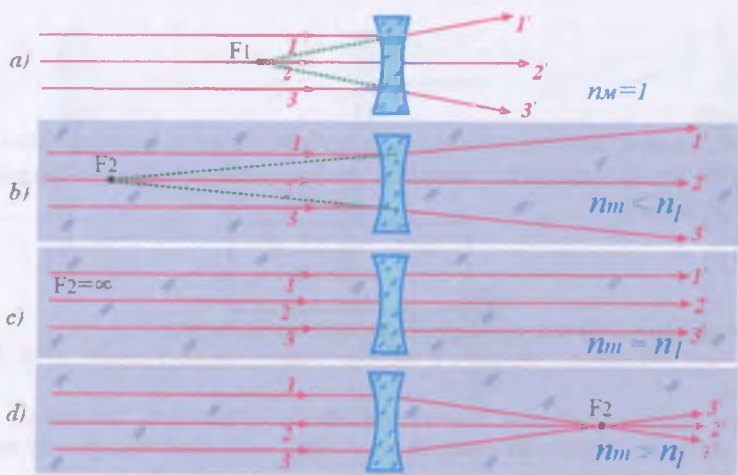
1. Linzani vakuumdan muhitga o'tkazilsa, fokus masofasi ortadi, optik kuchi esa kamayadi.

2. Agar yig'uvchi linzani absolyut siindirish ko'rsatkichi linzanikiga nisbatan kattaroq bo'lgan muhitga kiritilsa, yig'uvchi linza sochuvchi linzaga aylanadi (40.3-rasm).

3. Agar sochuvchi linzani absolyut siindirish ko'rsatkichi linzanikiga nisbatan kattaroq bo'lgan muhitga kiritilsa, sochuvchi linza yig'uvchi linzaga aylanadi (40.4-rasm).



40.3-rasm



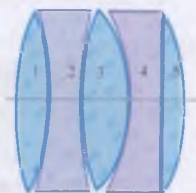
40.4-rasm

Agar bir necha linzalar bitta joyga to'plangan bo'lsa, bu optik sistemaning optik kuchini topish uchun har bir linzaning optik kuchlari algebratik qo'shiladi. Bunda yig'uvchi linzaning optik kuchi musbat, sochuvchi linzani esa manfiy ishora bilan olinadi.

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n$$

Masalan, rasmda keltirilgan beshta linzaning optik kuchlari mos ravishda $D_1 = 8 \text{ dptr}$, $D_2 = -6 \text{ dptr}$, $D_3 = 10 \text{ dptr}$, $D_4 = -3 \text{ dptr}$, $D_5 = 4 \text{ dptr}$ bo'lsa, linzalardan iborat optik sistemaning natijaviy optik kuchi

$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = 8 - 6 + 10 - 3 + 4 = 13 \text{ dptr}$ bo'lar ekan (40.5-rasm).



40.5-rasm



1. Linzaning optik kuchi deb nimaga aytiladi va uning o'lchov birligi qanday?
2. Linza optik kuchini geometrik o'lcham va shisha materila turiga bog'liqlik formulasini yozing.
3. Linzani vakuumdan shaffof muhitga kirgizilsa uning fokus masofasi va optik kuchi qanday o'zgaradi?
4. Linzani linza materialini sindirish ko'rsatishidan katta bo'lgan shaffof muhitga kirgizilsa nima bo'ladi?
5. Linzalar sistemasining optik kuchi qanday aniqlanadi?



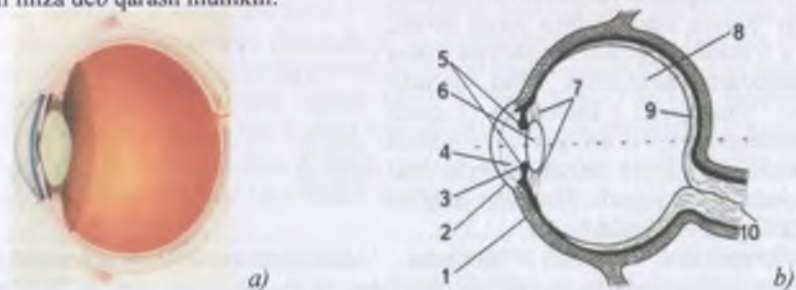
§ 41. KO'Z-OPTIK ASBOB. KO'ZNING OPTIK XUSUSIYATLARI.

Ko'z-optik asbob:

Odam ko'zi shar shakliga yaqin bo'lib, taxminan diametri $2,4 \text{ sm}$ atrofida bo'ladi (41.1-rasm). Sirtqi tomondan ko'z **sklera** 1 deb ataluvchi maxsus oq tusli himoya qobig'i bilan qoplangan. Skleraning oldingi shaffof qismi **shox parda** 2 deyiladi. Shox parda orqasida biror masofada **kamalak parda** 3 joylashgan bo'lib, u alohida modda bilan biror rangga bo'yalgan bo'ladi. Kamalak parda ko'z rangini ko'rsatadi. Shox parda bilan

kamalak parda oralig'ida *suvga o'xshash 4 suyuqlik* bo'ladi. Kamalak pardada teshik – *qorachiq* 5 bor. Ko'zda qorachiq diametri o'zgaruvchan bo'lib, u xuddi fotoapparatlarda apertura diafragmasi o'zgarishiga o'xshaydi. Ko'zga tushayotgan yorug'lik miqdoriga qarab qorachiqning diametri taxminan 2 – 8 mm. oralig'ida reflektiv tarzda o'zgaradi. Tunda qorachiq ko'proq yorug'lik o'tkazish uchun kattalashadi, Quyoshga qaraganda esa eng kichik holatni egallaydi. Qorachiq orqasida linzaga o'xshash shaffof qat-qat jism – *gavhar* 6 joylashgan. Ko'z gavhari sindirish ko'rsatkichi 1,4ga yaqin bo'lgan shaffof moddadan iborat ikki yoqlama qavariq linzadir. Shuni qayd qilish kerakki, ko'z gavhari ichki sirtining egrilik radiusi ko'zning kamalak pardaga kelib qo'shilgan tashqi sirtinikiga qaraganda kichikroqdir, ya'ni qavariqroqdir. Alohida *muskul* 7 gavhar shaklini ma'lum bir chegarada o'zgartira oladi va yaqinroq narsalarni ko'rishda gavharni qavariqroq holatga keltiradi Ko'zning orqa devorigacha bo'lgan qolgan qismi shaffof suyuqlik 8 bilan band. Ko'z tubi juda murakkab *to'rsimon qobiq (to'r parda)* bilan qoplangan bo'lib, bu parda tarmoqlangan *ko'rish nervi* 10dan iborat bo'lib, bu nervlar *tayoqchalar va kolbachalar* tarzidagi nerv uchlari 9 bilan tugaydi. Tayoqcha va kolbachalar yorug'likni sezuvchilar bo'lib, ularga kelib tushgan fotonni miyaga uzatadi (41.1-rasm).

Ko'zga tushadigan nurlar shox parda sirtida eng ko'p sinadi. Gavhar ham nurni qo'shimcha ravishda ozroq sindiradi. qisqasi, ko'zning optik sistemasini fokus masofasi o'zgaruvchan, lekin chuqurligi (gavhardan to'r pardagacha masofa) o'zgarmaydigan yig'uvchi linza deb qarash mumkin.



41.1-rasm

To'r pardada buyumning haqiqiy, teskari, kichiklashgan tasviri hosil bo'ladi. Ko'zga tushuvchi yorug'lik nerv uchlari (tayoqcha va kolbachalarni) ta'sirlantirishi bizda ko'rish sezgisi hosil qiladi. Ana shu tayoqcha va kolbachalar teskari tasvirni miyaga uzatadi va miya bu tasvirni yana bir marta to'ntarib, to'g'ri tasvir hosil qilib beradi.

Ko'z akkomodatsiyasi, adaptatsiyasi va konvergentsiyasi:

Ko'z murakkab optik sistema bo'lib, unga tushgan yorug'lik shox parda, kamalak parda, qorachiq, gavhar va maxsus oqish suyuqlikning barchasida ozgina-ozginadan sinadi. Shulardan gavharda yorug'lik nuri eng ko'p sinadi. Soddalashtirish maqsadida hisob-kitoblarda ko'zni bitta yig'uvchi linza bilan almashtiriladi.

Agar buyum uzoqda bo'lsa, tasvir normal ko'zning to'r pardasida gavhar muskulini zo'riqtirmasdan hosil bo'ladi. Odam juda uzoqqa (cheksizlikka, masalan yulduzlarga) qaraganda gavharni tutib turuvchi mushaklar bo'shashadi, bunda mushaklar dam oladi. Nigohi cheksizlikka qaragan ko'zning fokus masofasi eng katta bo'lib, taxminan $F_1 \approx 17\text{ mm}$ ga, optik kuchi esa $D_1 \approx 58\text{ dpt}$ ga teng bo'ladi.

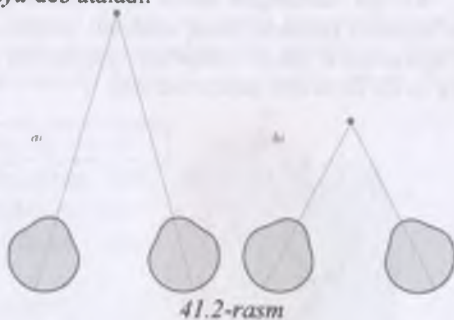
Agar buyum yaqinroq bo'lsa, to'r pardada tasvir hosil qilishga ko'zning fokus masofasini qisqartirish orqali erishiladi. Bunda gavhar egriligini o'zgartiruvchi muskul biroz zo'riqadi. Nigohni yaqindagi buyumlarga qaratish gavharni muskullar yordamida siqish yordamida amalga oshiriladi. Juda yaqindagi buyumlarga termulib turish ko'z gavharini siqilgan holatda tutib turishni talab etgani bois, muskullar toliqadi. Normal ko'z bilan $d_0 = 25$ sm masofadagi buyumga nigohni qaratganda ko'zning fokus masofasi taxminan $F_2 \approx 14$ mm ga, optik kuchi esa $D_1 \approx 70$ dpt ga teng bo'ladi.

Kuzatiladigan masofaning o'zgarishiga ko'zning moslashuvi ko'z akkomodatsiyasi deyiladi.

Akkomodatsiyaning eng yaqin nuqtasi **eng yaxshi ko'rish masofasi** deyiladi. Normal ko'z uchun bu masofa $d_0 = 25$ sm. Ko'zning akkomodatsiyasi cheksiz emas. Xalqasimon mushaklar yordamida ko'zning optik kuchini yana 12 dpt.gacha oshirish mumkin.

Inson ko'zi buyumlarni faqatgina kunduzi yaxshi ko'rishga imkon bermasdan, kechqurun va tunda ham ko'rish imkonini beradi. Odam qorong'uda biroz turgandan keyin narsalarning qiyofasini ko'ra boshlaydi. Ko'z tubidagi yorug'lik sezuvchi nerv uchlarining turli yorug'likka moslashish qobiliyati, ya'ni kuzatilayotgan buyumlarning turlicha ravshanligiga moslashishi **adaptatsiya** deb ataladi.

Odam biror buyumga qarayotganda u ko'zining o'qlarini shunday yo'naltiradiki, bu o'qlar buyumda kesishadi (41.2-rasm). Agar buyum kuzatuvchiga yaqin bo'lsa, ko'z o'qlarini buyumda kesishtirish uchun mushaklarni zo'riqtirish kerak bo'ladi. Shu zo'riqish kattaligiga qarab predmetgacha bo'lgan masofa chamlalanadi, qaysi buyum uzoqda yoki yaqindaligi farqlanadi. Muayyan nuqtada ko'z o'qlarining kesishishiga



konvergensiya deyiladi (lotincha *konvergensiya* – uchrashish). Jism harakatlanayotganda bu jismga yo'naltirilgan ko'z o'qlarining vaziyati ham o'zgaradi. Shunga ko'ra jismning harakatlanayotgani payqaladi. Judauzoqdagi jismga qaraganda ko'z o'qlari deyarli parallel bo'ladi. Bu jism harakatlanganda ko'z o'qlarining vaziyati deyarli o'zgarmagani bois, uning harakatini payqash qiyin bo'ladi. Demak, konvergensiya hodisasi yordamida jismlarning uzoq yoki yaqinda turganligi hamda uning harakatlanayotgani yoki tinch turgani haqida ma'lumot olish mumkin ekan.

Ko'rish sezgisining davomiyligi:

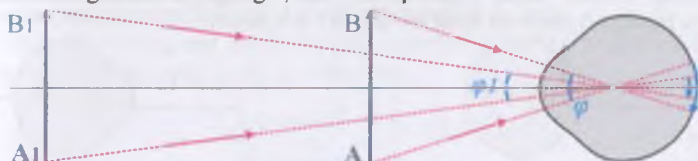
Agar uchi cho'g' bo'lib turgan jismni qorong'uda juda tezaylantirsak, nariroqda kuzatib turgan odam aylanuvchi xalqani ko'radi. Shunga o'xshash elektr chiroqqa tikilib turgan odamning ko'z o'ngidan chiroq o'chirilgach ham uning shu'lasini biroz vaqt davomida ketmaydi. Agar odam biror jismga qarab turgan bo'lsa, o'sha jism olib qo'yilgandan keyin ham uni 0,1 s.ga yaqin vaqt davomida ko'radi. Tez aylanayotgan velosped yoki mototsikl g'ildiragini ko'rmasdan, aylana shaklidagi sharpani ko'ramiz. Xuddi shuningdek, yonimizdan tez uchib o'tgan o'qni ham ilg'amay qolamiz. Bu hodisalar insonning ko'rish jarayonida o'ziga xos inersiya mavjudligini ko'rsatadi.

Agar odam yog'ochdan qilingan tor tirqishli devor yonidan tez yugurib o'tsa, bunda devor orqasida nimalar bo'layotganini aniq ko'radi. Bu hodisa **stroboskopik effekt**

deyiladi. Stroboskopik effekt hozirgi zamon kinosining asosidir. Kinoteatlarda har sekundiga 25ta kadr o'tadi. Tasvir almashayotgan vaqtda kinoapparat ob'ektivi yopiq va ekran yoritilmagan bo'ladi. Lekin, buni tomoshobinlar sezishmaydi, ular tasvirlar ketma-ket almasinish natijasida harakatli jarayonni ko'radilar.

Ko'rish burchagi:

Uzoqdagi binolarga qaraganimizda ularning o'lchamlari yaqindagi binolarning o'lchamlaridan kichikroqdek tuyuladi. Buning sababi quyidagicha tushuntiriladi: Barcha binolar balandliklari bir bo'lsa-da, ular ko'z to'r pardasida har xil o'lchamdagi tasvirlar hosil qiladi, ya'ni uzoqdagi binining ko'z tubidagi tasviri kichikroqdir. Shuning uchun uzoqdagi buyumlar kichikroqdek tuyuladi. Buyumlarning ko'z to'r pardasidagi tasviri o'lchamlari ularning ko'rish burchagi φ bilan aniqlanadi.



41.3-rasm

Ko'zning optik markazidan buyumning chetki nuqtalariga o'tkazilgan to'g'ri chiziqlar orasidagi burchak ko'rish burchagi deyiladi.

Ko'rish burchagi φ qanchalik katta bo'lsa, tasvir ko'z tubida shuncha ko'p sonli yorug'lik sezuvchi nerv uchlarini (tayoqchalar va kolbachalarni) yopadi. Natijada odam kuzatayotgan buyumning ko'p mayda detallarini ajratib oladi. Ko'rish burchagini oshirish uchun esa buyumga yaqinroqdan qarash kerak bo'ladi. Lekin, ko'rish burchagini oshiraman deb buyumni eng yaxshi ko'rish masofasi $d_0 = 25\text{sm}$ dan yaqinlashtirib yuborish ham foyda bermaydi. Maqsadga erishish uchun qo'shimcha optik asboblarda (lupa, ko'zoynak, mikroskop va h.)dan foydalanish zarur bo'ladi.

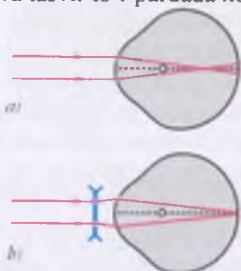
41.1-jadval

Fonning yoritilganligi, lk	Chegaraviy ko'rish burchagi, $min.$	Fonning yoritilganligi, lk	Chegaraviy ko'rish burchagi, $min.$
0,0001	50	0,5	2
0,0005	30	1	1,5
0,001	17	5	1,2
0,005	11	10	0,9
0,01	9	100	0,8
0,05	4	500	0,7
0,1	3	1000	0,7

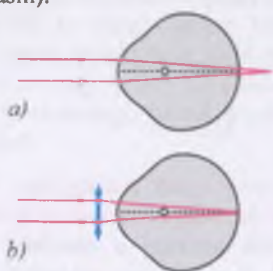
Qaralayotgan buyum juda uzoqda bo'lsa, uning tasviri ko'z tubida faqat birgina yorug'lik sezuvchi nerv tolasini yopadi. Natijada, tasvir nuqtadek bo'lib ko'rinadi. Ko'rish burchagi $30''$ bo'lganda ana shunday bo'ladi. Amalda inson ko'zi ko'rish burchagi 1'dan kichikroq bo'lgandayiq buyumning mayda detallarini ajrata olmay qoladi. Shuning uchun buyum nuqtaga aylanadigan chegaraviy burchakni 1'ga teng deb olinadi va bu burchakga **chegaraviy ko'rish burchagi** deyiladi. Chegaraviy ko'rish burchagi buyumni yoritilganligiga ham bog'liq. 41.1-jadvalda normal ko'zning chegaraviy ko'rish burchagi bilan buyumning yoritilganligi orasidagi munosabat keltirilgan.

Yaqindan ko'rur ko'z va bu ko'zga tavsiya etiladigan ko'zoynak:

Ba'zi kishilarning ko'zi zo'riqmagan holda uzoqdagi buyumning tasvirini to'r pardada emas, balki uning oldida hosil qiladi (41.4-a,rasm). Yaqindan ko'rar ko'z nurlarni normal ko'zga qaraganda kuchliroq yig'adi, ya'ni yaqindan ko'rar ko'zning optik kuchi normal ko'znikidan katta bo'ladi. Bunday nuqsonli ko'z egalari uzoqni yaxshi ko'ra olmaydilar. Ko'zning bunday nuqsoni **yaqindan ko'rarlik** deyiladi. Yaqindan ko'rar ko'z buyumni biror masofagacha aniq ko'radi, undan uzoqlasha ko'rish xiralasha boshlaydi va ko'z akkomodatsiyasining eng uzoq nuqtasi cheksizlikda bo'lmaydi. Yaqindan ko'rar ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi ham 25 sm.dan kichik bo'ladi. Masalan, yaqindan ko'rar ko'z 10sm dan boshlab to 100 m masofagacha yaxshi ko'radi. Ko'zning yaqindan ko'rarlik nuqsoni sochuvchi linzalar o'rnatilgan ko'zoynak (– ko'zoynak) taqish orqali tuzatiladi. Parallel nurlar bunday linza orqali o'tar ekan ko'zga cheksizlikdan kelayotgandek ko'rinadi va tasvir to'r pardada xosil bo'ladi (41.4-b,rasm).



41.4-rasm

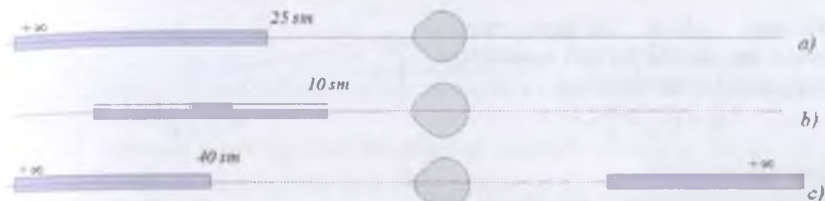


41.5-rasm

Uzoqdan ko'rar ko'z va bu ko'zga tavsiya etiladigan ko'zoynak:

Ko'zning uzoqdagi narsalar tasviri to'r parda orqasiga tushishi bilan bog'liq nuqsoni **uzoqdan ko'rarlik** deyiladi (41.5-a,rasm). Uzoqdan ko'rar ko'z nurlarni normal ko'zchalik kuchli yig'a olmaydi, ya'ni uzoqdan ko'rar ko'zning optik kuchi normal ko'znikidan kichik bo'ladi. Uzoqdan ko'rar ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi 25 sm dan katta bo'ladi. Masalan, uzoqdan ko'rar ko'z 50sm dan boshlab to cheksizlikkacha masofani ko'radi. Ushbu ko'z sohibi kitob o'qimoqchi bo'lsa, harflarni 50sm masofadan ajrata olmaydi, bu masofadan yaqinda esa harflar chaplashib ketadi. Uzoqni ko'rarlik yig'uvchi linzalar o'rnatilgan ko'zoynak (+ ko'zoynak) taqish bilan tuzatiladi. Uzoqdagi narsalarni ko'rish uchun linzaning optikaviy kuchi parallel nurlar ko'zning to'r pardasida fokuslanadigan darajada bo'lishi kerak (41.5-b, rasm).

Normal ko'z, yaqindan ko'rar ko'z va uzoqdan ko'rar ko'zlarning yaxshi ko'rish diapozoni misol tariqasida 41.6-rasmda tasvirlangan. Normal ko'z 25 sm dan cheksizlikkacha, yaqindan ko'rar ko'z esa 10 sm dan biror masofagacha, uzoqni ko'rar ko'z esa 40 sm dan cheksizlikkacha zo'riqmasdan ko'radi. Uzoqdan ko'rar ko'zlar uchun ko'zning orqasida biror masofadan boshlab cheksizlikkacha mavhum manbalarni ham ko'rish mumkin. Bu faqat parallel dastalarni emas, balki yig'iladigan nurlarni ham ko'raishini bildiradi.



41.6-rasm

Nuqsonli ko'z uchun ko'zoynakning optik kuchi shunday tanalanadiki, bunda ko'z va ko'zoynakdan iborat optik sistema normal ko'zga aylanish kerak. Nuqsonli ko'z va normal ko'zning eng yaxshi ko'rish masofalarini bilgan holda nuqsonli ko'zga tavsiya etiladigan ko'zoynakning optik kuchini hisoblash mumkin bo'ladi.

Agar nuqsonli ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi d_1 bo'lsa, bu ko'z uchun tavsiya etiladigan ko'zoynakning optik kuchi quyidagicha:

$$D = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_1} \quad [\text{dptr}]$$

Bu yerda: $d_0 = 25 \text{ sm}$ —normal ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi.



1. Ko'zning tuzilishini aytib bering? Ko'z qanday linza?
2. Ko'z qanday linza? Ko'zning fotoapparatdan farqi nimadan iborat?
3. Ko'z akkomodatsiyasi, adaptatsiyasi va konvergentsiyasi nima?
4. Ko'rish sezgisining davomiyligi va ko'rish burchagi haqida gapirib berin.
5. Yaqindan ko'rar ko'z nima? Bu nuqson qanday bartaraf etiladi?
6. Uzoqdan ko'rar ko'z nima? Bu nuqson qanday bartaraf etiladi?



§ 42. OPTIK ASBOBLAR.

Ko'rish qiyin bo'lgan mayda narsalarni yoki juda olisdagi narsalarni ko'rish uchun optik asboblardan foydalaniladi. Optik asboblarni kuzatilayotgan buyum va narsalarni kattalashtirib bermasdan, balki ko'rish burchagini kattalashtirib beradi.

Optik asbobning kattalashtirishi deb predmet tasvirini asbob yordamida ko'rish burchagi φ ni ochiq ko'z bilan ko'rish burchagi φ_0 ga nisbatiga aytiladi.

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0}$$

Odatda mayda narsalarni kuzatganda φ va φ_0 burchaklar juda kichik burchaklar bo'lgani uchun kattalashtirish taxminan quyidagi formulaga teng bo'ladi.

$$K \approx \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \varphi_0}$$

Lupa:

Mayda narsalarni kuzatishda ko'rish burchagini oshirib beradigan oddiy optik asbob – lupadir. Lupalarning fokus masofasi $F = 5-10 \text{ sm}$ oralig'ida bo'lib, u ko'rish burchagini ko'pi bilan 5–6 marta oshirib beradi.

Sog'lom ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi $d_0 = 25 \text{ sm}$ bo'lib, mayda narsalarni ko'zga bu masofadan ham yaqin tutish foyda bermaydi, ya'ni tasvir chaplashadi, ko'z zo'riqadi.

O'lchami $AB = h$ bo'lgan mayda buyumni eng yaxshi ko'rish masofasiga olib kelganda ko'rish burchagi

$$\varphi_0 \approx \text{tg} \varphi_0 = \frac{AB}{d_0} = \frac{h}{d_0}$$

bo'ladi (42.1-a, rasm).

Lupadan foydalanganda esa lupa ko'zga yaqinroq biror masofaga olib kelinadi va kuzatiladigan mayda narsa lupaning orqa fokusiga joylashtiriladi. Natijada, lupada singan nurlar o'zaro parallel nurlar dastasiga aylanadi. Ko'z ham yig'uvchi linza bo'lgani uchun bu parallel nurlar

dastasini ko'zning ichki fokal tekisligida, ya'ni ko'z tubida yig'ib beradi. Bunda faqatgina ko'zning optik markazidan o'tuvchi 2' nurgina ko'zda sinmasdan ko'z tubidagi B_1 nuqtaga tushadi. Qolgan barcha nurlar, jumladan 1' va 3' nurlar ham ko'zda singach B_1 nuqtaga tushadi. Shunday qilib ko'z tubida B nuqtaning to'ng'arilgan tasviri hosil bo'ladi. Bunda o'lchami $AB = h$ bo'lgan mayda buyumning ko'rish burchagi

$$\varphi \approx \text{tg} \varphi = \frac{AB}{F} = \frac{h}{F}$$

bo'ladi (42.1-b, rasm).

Mayda narsaga lupa yoramidagi ko'rish burchagi va ochiq ko'z bilan qaragandagi ko'rish burchaklari nisbati lupaning kattalashtirishini beradi.

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} \approx \frac{\text{tg} \varphi}{\text{tg} \varphi_0} = \frac{h/F}{h/d_0} = \frac{d_0}{F} = \frac{0,25}{F}$$

Shunday qilib, lupaning kattalashtirishi quyidagicha bo'lar ekan:

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{d_0}{F} = \frac{0,25}{F}$$

Bu holda ko'z cheksizlikka akkomodatsiyalangan bo'lib, AB buyumni odam zo'riqmasdan va uzoq vaqt toliqmasdan kuzatishi mumkin.

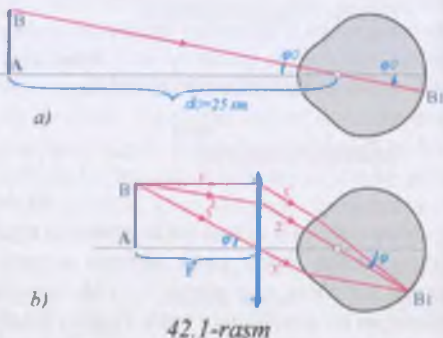
Agar AB buyumni lupaning fokal tekisligidan lupaga yaqinroqqa sursak ($d < F$), lupaning kattalashtirishi oldingidan biroz kattaroq bo'ladi, ammo ko'z zo'riqadi. Bunda eng yaxshi ko'rish masofasi $d_0 = 25 \text{ sm}$ da buyumning $A'B'$ mavhum tasvirini olish mumkin. Singan barcha nurlar, jumladan 1', 2', 3' nurlar sochiladi. Lekin, ko'z yig'uvchi linza bo'lgani uchun bu nurlarni qaytadan ko'z tubida B_1 nuqtada to'playdi. Bunda hosil bo'lgan tasvir buyum lupaning fokal tekisligida turgandagi hosil bo'ladigan tasvirdan kattaroq bo'ladi, shuningdek ko'rish burchagi ham kattaroq bo'ladi (42.2-a, rasm).

Chizmadan $\text{tg} \varphi = \frac{AB}{d} = \frac{h}{d}$ ekan ko'rinib turibdi. Bunda lupaning kattalashtirishi

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} \approx \frac{\text{tg} \varphi}{\text{tg} \varphi_0} = \frac{h/d}{h/d_0} = \frac{d_0}{d} = \frac{1}{d} \cdot d_0 = \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{d_0} \right) \cdot d_0 = \frac{d_0}{F} + 1 = \frac{0,25}{F} + 1$$

bo'ladi.

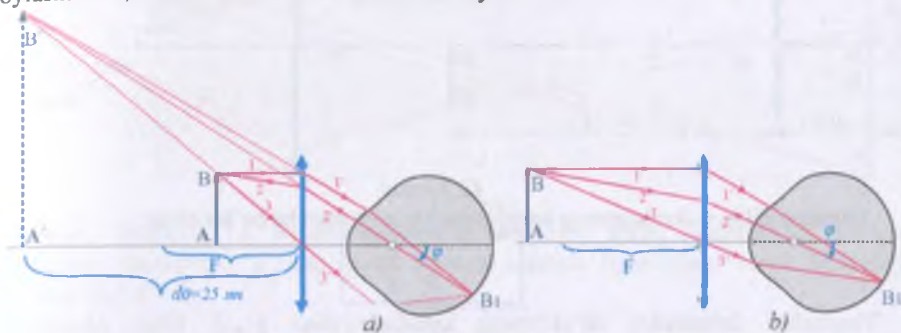
Shunday qilib, buyum lupa fokal tekisligining ichkarisiga joylashtirilganda lupaning kattalashtirishi quyidagicha bo'larekan:



$$K = \frac{d_0}{F} + 1$$

Demak, lupaning kattalashtirishini ko'zni zo'riqishi evaziga ko'pi bilan yana bir birlik oshirish mumkin ekan.

Agar AB buyumni lupaning fokal tekisligidan lupadan uzoqroqqa sursak ($d > F$), lupaning kattalashtirishi buyum fokal tekislikda turgandagidan biroz kichiklashadi (42.2-b. rasm). Agar buyum lupadan eng yaxshi ko'rish msosasi $d_0 = 25$ sm uzoqlikka joylashtirilsa, unda umuman tasvir hosil bo'lmaydi.



42.2-rasm

Lupalarning diametri uncha kichik bo'lmagani uchun ularning fokus masofasi ham uncha kichik bo'lmaydi. Shu bois lupa ko'rish burchagini istalgancha kattalashtirib berishga imkon bermaydi. U holda kattalashtirish darajasini yanada oshirish uchun boshqa optik asboblardan foydalanishga to'g'ri keladi.

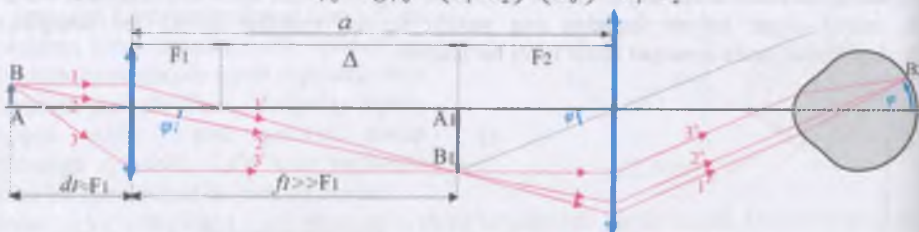
Mikroskop:

Juda kichik zarralarni ko'rish uchun mikroskopdan foydalaniladi. Mikroskopda fokus masofasi lupanikidan ancha kichik bo'lgan ikkita linza bo'ladi. Buyum tomonda turadigan linzani **ob'ektiv** deb, kuzatuvchi tomonda turadigan linzani esa **okulyar** deb ataladi. Ob'ektivning fokus masofasi okulyarnikidan kichikroq (demak, optik kuchi kattaroq) bo'ladi. Ob'ektivning fokus masofasi $F_{obek} = F_1$, okulyarning fokus masofasi esa $F_{ok} = F_2$ deb olamiz. Ob'ektiv va okulyarlar orasidagi masofani a deb, ularning fokus masofalari orasidagi masofani esa Δ deb olamiz. Bunda Δ – mikroskopning **tubus uzunligi** deyiladi. Kuzatiladigan mayda AB jism (masalan, biologik xujayralar) ob'ektivning fokal tekisligining shundoq orqasiga ($d_1 > F_1$, $d_1 \approx F_1$) joylashtiriladi. Bu mayda jismning teskari haqiqiy A_1B_1 tasviri $f_1 \gg F_1$ masofada hosil bo'ladi. Okulyarni shunday joylashtiramizki, bunda A_1B_1 tasvir okulyarning fokal tekisligida yotadi. Okulyardan chiqqan nurlar parallel nurlar dastasiga aylanadi va ko'zga φ burchak ostida tushadi. Ko'z esa bu parallel nurlar dastasini yig'ib ko'z tubida A_2B_2 to'g'ri tasvirga aylantiradi. Demak, ob'ektiv hosil qilgan A_1B_1 tasvirni odam φ burchak ostida ko'radi (42.3-rasm). Chizmadan

$$\tan \varphi = \frac{A_1B_1}{F_2} = \frac{f_1 \tan \varphi_1}{F_2} = \frac{f_1}{F_{ok}} \cdot \frac{AB}{d_1} = \frac{f_1}{F_2} \cdot AB \cdot \left(\frac{1}{F_1} - \frac{1}{f_1} \right) = \frac{f_1 - F_1}{F \cdot F_2} \cdot AB = \frac{\Delta}{F \cdot F_1} \cdot AB = \frac{\Delta \cdot AB}{F \cdot F_2}$$

ekanligini aniqlaymiz. Mayda AB jismini eng yaxshi ko'rish masofasidan kuzatilganda, ko'rish burchagi tangensi $\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{AB}{d_0}$ ga teng bo'lar edi. Topilgan burchaklardan mikroskopning kattalashtirishini topish mumkin.

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_0} = \left(\frac{\Delta \cdot AB}{F_1 \cdot F_2} \right) : \left(\frac{AB}{d_0} \right) = \frac{\Delta \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2}$$



42.3-rasm

Shunday qilib, mikroskopning kattalashtirishi quyidagicha bo'lar ekan:

$$K = \frac{\Delta}{F_1} \cdot \frac{d_0}{F_2}$$

Yuqoridagi formuladan ob'ektivning kattalashtirishini $K_1 = \frac{\Delta}{F_1}$ bilan, okulyarning kattalashtirishini esa $K_2 = \frac{d_0}{F_2}$ bilan belkilasak, mikroskopning kattalashtirishi quyidagicha bo'lar ekan:

$$K = K_1 \cdot K_2$$

Mikroskopning kattalashtirishi ob'ektivning kattalashtirishi va okulyarning kattalashtirishi ko'paymasiga teng bo'ladi.

Odam mikroskop orqali qaraganda, mayda jismlarning mavhum, to'nkarilgan, taxminan 1000 marta kattalashtirilgan tasvirini ko'radi.

Fotoapparat:

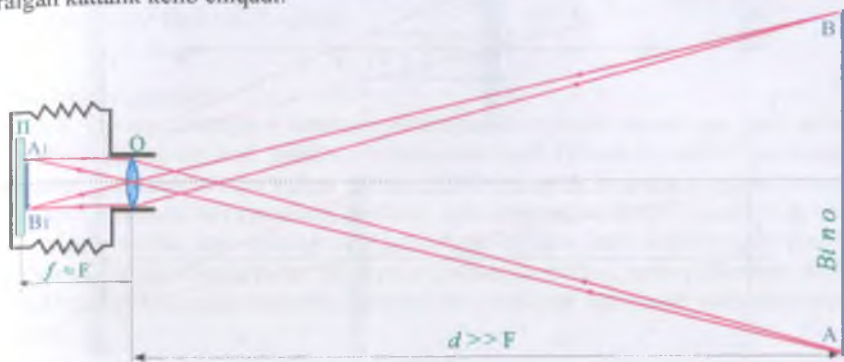
Fotoapparatlar ochiq ko'z bilan ko'rinadigan jismlarni, ya'ni o'lchami metr tartibida bo'lgan jismlarni (mas.daraxt, bino, odam, mashina va h.) suratga olish uchun foydalaniladi. Bunda jismlarning kichiklashgan, haqiqiy va teskari tasviri fotoapparat ichidagi yorug'likka sezgir plyonkani kuyishi natijasida hosil bo'ladi. Bu plyonkani **negativ** deyiladi. Fotoapparat ichida yig'uvchi linza bo'lib, uni **ob'ektiv** deyiladi. Ob'ektiv oldinga yoki orqaga surilishi mumkin. Uzoqroqdagi jismini suratga olinayotganda obektivni orqaga, ya'ni tasvirchi o'ziga tomon suradi. Suratga olinayotgan jismgacha masofa linza fokusidan ancha katta ($d \gg F$) bo'ladi. Shuning uchun tasvir linza fokus masofasining shundoq orqasida, fokus masofadan biroz katta masofada ($f > F$, $f \approx F$) hosil bo'ladi (42.4-rasm). Natijada, fotoapparatning kattalashtirishi quyidagicha bo'ladi:

$$K = \frac{f}{d} \approx \frac{F}{d}$$

Endi biror uzoqlikdan biror ob'ektni sur'atga olganda tasvirning o'lchami qanday bo'lishini aniqlaylik. Linzaning kattalashtirish formulalari $K = \frac{f}{d} \approx \frac{F}{d}$ va $K = \frac{H}{h}$ dan foydalanamiz. Natijada,

$$\frac{H}{h} = \frac{F}{d} \rightarrow H = \frac{F}{d} h$$

so'ralgan kattalik kelib chiqadi.



42.4-rasm

Demak, balandligi h bo'lgan binoni ob'ektivining fokus masofasi F bo'lgan fotoapparat yordamida d masofadan suratga olganda negativdagi tasvir balandligi quyidagicha bo'ladi:

$$H \approx \frac{F}{d} h$$

Fotoapparat yordamida biror ob'ektni ikki xil usulda sur'atga olganda tasvir o'lchamlari ma'lum bo'lsa, ob'ektning o'lchami, linzaning optik kuchi va fokus masofasini aniqlash mumkin ekan. Shu kattaliklarni topaylik. Buyumni d_1 masofadan suratga olganda tasvir $f_1 = \frac{H_1}{h} d_1$ masofada, d_2 masofadan suratga olganda esa tasvir $f_2 = \frac{H_2}{h} d_2$ masofada hrsil bo'ladi. Fokus masofa uchun

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$$

formuladan foydalanib buyum balandligini topamiz.

$$\frac{1}{d_1} + \frac{h}{H_1 d_1} = \frac{1}{d_2} + \frac{h}{H_2 d_2} \rightarrow h \frac{H_1 d_2 - H_2 d_1}{H_1 H_2 d_1 d_2} = \frac{d_1 - d_2}{d_1 d_2} \rightarrow h = \frac{H_1 d_2 - H_2 d_1}{H_1 H_2 d_1 d_2} = \frac{(d_1 - d_2) H_1 H_2}{H_2 d_2 - H_1 d_1}$$

Linzaning optik kuchini topamiz.

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{h}{H_1 d_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{(d_1 - d_2) H_2}{(H_2 d_2 - H_1 d_1) d_1} = \frac{H_2 d_2 - H_1 d_1 + H_2 d_1 - H_1 d_2}{(H_2 d_2 - H_1 d_1) d_1} = \frac{H_2 - H_1}{H_2 d_2 - H_1 d_1}$$

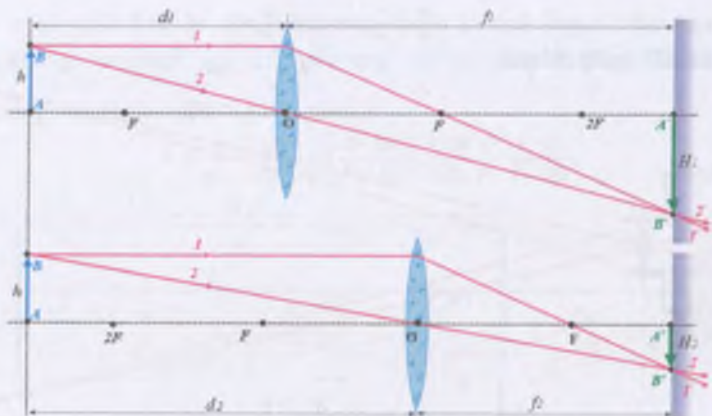
Linza fokus masofasi esa optik kuchga teskari kattalik bo'lgani uchun

$$F = \frac{H_2 d_2 - H_1 d_1}{H_2 - H_1}$$

bo'ladi.

Shunday qilib, agar buyumni d_1 masofadan sur'atga olganda tasvir balandligi H_1 , d_2 masofadan suratga olganda tasvir balandligi H_2 bo'lsa, u holda buyum balandligi h , optik kuchi D va fokus masofasi F quyidagicha bo'lar ekan:

$$h = \frac{(d_1 - d_2) H_1 H_2}{H_2 d_2 - H_1 d_1}; \quad D = \frac{H_2 - H_1}{H_2 d_2 - H_1 d_1}; \quad F = \frac{H_2 d_2 - H_1 d_1}{H_2 - H_1}$$



42.5-rasm

Buyum va ekran orasidagi linzani surish yo'li bilan buyumning haqiqiy tasvirini ikki marta hosil qilish mumkin ekan. Tasvir o'lchamlarini bilgan holda buyum o'lchamini aniqlaylik. Masala shartidan ham ma'lumki, buyum va linza orasidagi masofa har ikkala holda ham o'zgarmas saqlanadi, ya'ni $\ell = d_1 + f_1 = d_2 + f_2$ bo'ladi. Undan tashqari foydalanilayotgan linza bitta bo'lgani uchun

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$$

bo'ladi. Bu tengliklardan

$$\begin{cases} d_1 + f_1 = d_2 + f_2 \\ d_1 f_1 = d_2 f_2 \end{cases}$$

kelib chiqadi. Sistemadagi 2-tenglamadan $f_2 = \frac{d_1 f_1}{d_2}$ ni 1-tenglamaga qo'ysak

$$d_1 + f_1 = d_2 + \frac{d_1 f_1}{d_2}$$

hosil bo'ladi. Bundan esa

$$d_2^2 - (d_1 + f_1)d_2 + d_1 f_1 = 0$$

tenglama hosil bo'ladi. Bu tenglamani yechib

$$\begin{cases} d_2 = f_1 \\ f_2 = d_1 \end{cases}$$

ekanini topamiz. Endi ikala holda linza kattalashtirishi uchun

$$\begin{cases} K_1 = \frac{f_1}{d_1} = \frac{H_1}{h} \\ K_2 = \frac{f_2}{d_2} = \frac{H_2}{h} \end{cases}$$

sistemani hosil qilamiz. Sistemadagi tenglamalarni ko'paytirib

$$K_1 K_2 = \frac{f_1 f_2}{d_1 d_2} = \frac{H_1 H_2}{h^2} = 1$$

ifodani hosil qilamiz. Bu yerdan esa so'ralgan

$$h = \sqrt{H_1 \cdot H_2}$$

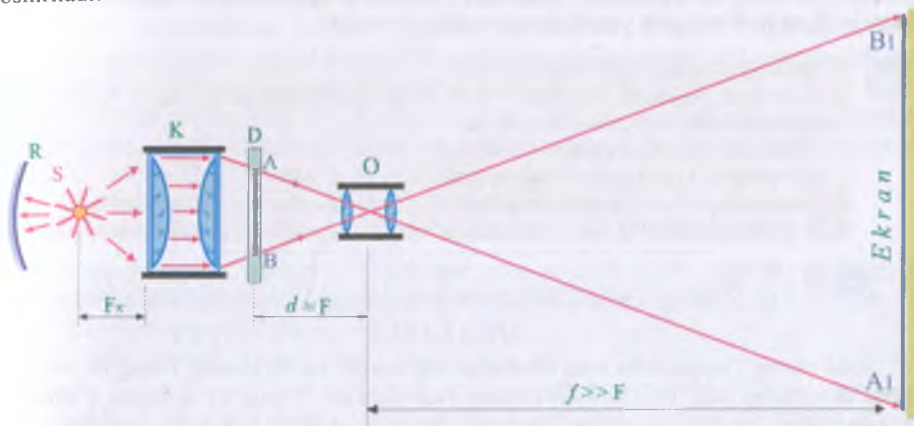
formulaga ega bo'lamiz.

Shunday qilib, buyum va ekran orasidagi linzani surish yo'li bilan buyumning H_1 va H_2 balandlikdagi haqiqiy tasvirlari olingan bo'lsa, buyumning balandligi h quyidagicha formuladan topilar ekan (42.5-rasm):

$$h = \sqrt{H_1 \cdot H_2}$$

Proyeksion apparat:

Kichik rasmlar, suratlarini devorga kattalashtirib tushirib beradigan optik asbobga **proyeksion apparat** deyiladi. Shisha, plyonka kabi shaffof jismlarga tushirilgan rasmlar – diapozitivni kattalashtirib ko'rishga xizmat qiladigan optik asbobga diaskop (yunoncha "dia"-orqali, "skopeco"-ko'ryapman) deyiladi. Agar apparat noshaffof rasmlarni ko'rishga mo'ljallangan bo'lsa, uni **episkop** deyiladi. Agar apparat ham shaffof ham noshaffof jismlarga chizilgan rasmlarni ko'rishga mo'ljallangan bo'lsa, uni **epidiaskop** deyiladi. Diafilmlarni ko'rish va kinozallarda kino ko'rish proeksion apparatlar yordamida amalga oshiriladi.



42.6-rasm

42.6-rasmda diaskopning rasmi keltirilgan. U asosan K kondensor va O ob'ektivdan iborat bo'lib, ularni linzalar tashkil etadi. Kondensorda ikkita bir xil yassi qavariq linza bo'lib, chap tomondagi linzaning fokus masofasiga S yorug'lik manbai joylashgan. Linzaga tushadigan yorug'lik oqimini kuchaytirish maqsadida orqa tomonga botiq ko'zgu qo'yilgan. Kondensor va ob'ektiv oraliq'iga AB diapozitiv to'nkarilgan holatda joylanadi. Diapozitivdan ob'ektivgacha masofa ob'ektiv fokus masofasidan biroz katta ($d > F$, $d \approx F$) bo'ladi. Ob'ektivdan ekrangacha bo'lgan masofa ob'ektiv fokus masofasidan ancha katta ($f \gg F$) bo'ladi. Natijada, devorda diapozitivning ancha kattalashgan A_1B_1 to'g'ri tasviri hosil bo'ladi. Ekrandagi tasvirning o'lchamini o'zgartirish uchun ob'ektivni o'ngga va chapga suriladi.

Proyeksion apparatning kattalashtirishi quyidagicha bo'ladi:

$$K = \frac{f}{d} \approx \frac{f}{F}$$

Geometrik optikaning tatbiq etilish chegaralari:

Yorug'likning to'lqin tabiati buyum detallarini yoki juda mayda narsalarni mikroskop bilan ko'zdan kechirishda ularni farq qilish imkoniyatini cheklaydi. Difraksiya (difraksiya

hodosasi to'liq optikasida o'rganiladi) mayda narsalarning aniq tasvirini hosil qilishga imkon bermaydi. Chunki yorug'lik to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalmay, balki mayda narsalarni aylanib o'tadi. Natijada, tasvirlar chaplashib ketadi. Chaplashgan tasvirni har qancha kattalashtirsa ham aniq tasvir olib bo'lmaydi. Narsalarning chiziqli o'lchamlari yorug'lik to'liq uzunligidan kichik bo'lgandagina shunday bo'ladi.

Difraksiya teleskopning ham ko'rsatish imkoniyatini cheklaydi. To'liqlar difraksiyasi oqibatida yulduzning tasviri ob'ektiv gardishida nuqta bo'lmay, balki yorug' va qoramtir xalqalar sistemasi bo'lib ko'rinadi. Agar ikkita yulduz bir-biridan kichik burchak masofada turgan bo'lsa, bu xalqalar bir-birining ustiga tushadi, ko'z yorug'lik manbalari ikkitami yoki bittami farq qila olmaydi.

Difraksiya xodisasi yuzasidan o'tkazilgan tadqiqotlar geometrik optika qonunlari taqribiy xarakterga ega ekanligini mutlaqo ravshan ko'rsatib berdi. Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni va geometrik optikaning boshqa qonunlari yorug'likning tarqalish yo'lidagi to'siqlarning o'lchamlari yorug'lik to'liqining uzunligidan ko'p marta katta bo'lgan holllardagina yetarli darajada aniq bajariladi.



1. Optik asboblarning kattalashtirishi nima?
2. Lupa nima maqsadda ishlatiladi? Uning kattalashtirish formulasini yozing. Lupalarning kattalashtirishlari qaysi oraliqda bo'ladi?
3. Mikroskop nima maqsadda ishlatiladi? Uning kattalashtirish formulasini yozing. Mikroskoplarning kattalashtirishlari qaysi oraliqda bo'ladi?
4. Fotoapparatlar nima maqsadda ishlatiladi? Uning ishlash prinsipini tushuntiring.
5. Proyeksion apparatlar nima maqsadda ishlatiladi. Uning ishlash prinsipini tushuntiring.



§ 43. YORUG'LIK TEZLIGI VA UNI O'LCHASHNING TURLI TARIXIY USULLARI.

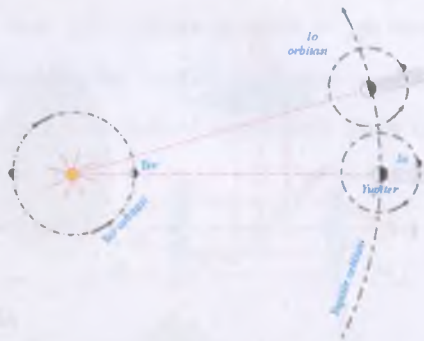
Xona chirog'i yoqilganda xona birdaniga yop-yorug' bo'lib ketadi. Yorug'lik nurining xona devorlariga etib kelishi hech qancha vaqt olmaydi. Yorug'lik tezligini o'lchashga son-sanoqsiz besamar urinishlar bo'lgan. Shunda odamlar yorug'lik tarqalishi vaqt olmaydi, u har qanday masofani bir onda o'tadi deb o'ylay boshladilar. Lekin, yorug'lik tezligining chekli ekanligi *XIV* asrga kelibgina ayon bo'ldi.

1. Astronomik usul (Ryumer usuli):

Yorug'lik tezligini 1-marta astronomik usul bilan daniyalik astronom Ryumer 1676-yil o'lchagan. Uning yorug'lik tezligini topishda muvaffaqiyat qozonganligining sababi, u o'lchashlarda planetalararo masofalarga teng juda katta masofalardan foydalandi. Bu usulda olim yorug'lik tezligini Yupiter sayyorasi yo'ldoshi Ioning Yupiter orqasidan o'tishidagi kechikishiga asoslanib aniqlagan. U quyidagicha ish qildi:

Ryomer Quyosh sistemasining eng katta planetasi Yupiter sayyoralarining tutilishini kuzatdi. Yupiterga eng yaqin yo'ldosh Ioni kuzatganda tutilishi boshqa yo'ldoshlardan juda tez sodir bo'lardi. Io Yupiter diski oldidan o'tib orqa tomoniga yashirinardi. Biroz vaqtdan so'ng yana paydo bo'lardi. Ioning har ikki ko'rinishi orasidagi vaqt 42 soatu 28 minut edi, ya'ni Ioning Yupiter atrofida aylanish davri 42 soatu 28 minut edi.

Dastlab Ryumerning o'lchash ishlari Yupiter Yerga eng yaqin kelganda o'tkazildi (43.1-rasm). Keyingi o'lchash ishlari esa oradan 6 oy vaqt o'tgach, ya'ni Yer o'z orbitasining qarama-qarshi tomoniga o'tgach o'tkazildi. Bunda Io va Yer orasidagi masofa taxminan Yer orbitasi diametriga oshgan edi. Bunda olim kutilmagan natijaga ega bo'ldi. Ioning aylanish davri 42 soatu 28 minut ekanligini bilgan holda o'tgan 6 oy ichida Io Yupiterni necha marta aylanishi va galdagi soya ortidan chiqish soat nechada ro'y berishini hisob-kitob qilgan edi. Io Yupiter



43.1-rasm

soyasidan Ryomer hisob-kitob qilgandan ko'ra 22 minut kechikib chiqdi.

Ryomer kechikishning sababini quyidagicha hisoblab bergan: "Agar men Yer orbitasining 6 oy oldingi narigi tomonida turganimda edi, Io soyadan o'z vaqtida chiqqan bo'lar edi, yorug'lik nuri Yer dimetrini bosib o'tishga 22 minut sarf qildi".

Ryumerning o'lchashlari uncha aniq emas edi. Uning hisob-kitobiga ko'ra Yerdan Quyoshgacha masofa taxminan 142 mln.km. edi. Shunga ko'ra Yer orbitasi diametrini kechikish vaqtiga bo'lib, yorug'lik tezligining qiymatini topdi.

$$c = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2r}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 142000000 \text{ km}}{22 \cdot 60 \text{ sek}} \approx 215000 \text{ km / sek}$$

Ryumer yorug'lik tezligini 215000 km/s deb aniqlagan. Bu qiymat uncha aniq bo'lmasa-da, lekin yorug'lik tezligi haqida qimmatli ma'lumot edi.

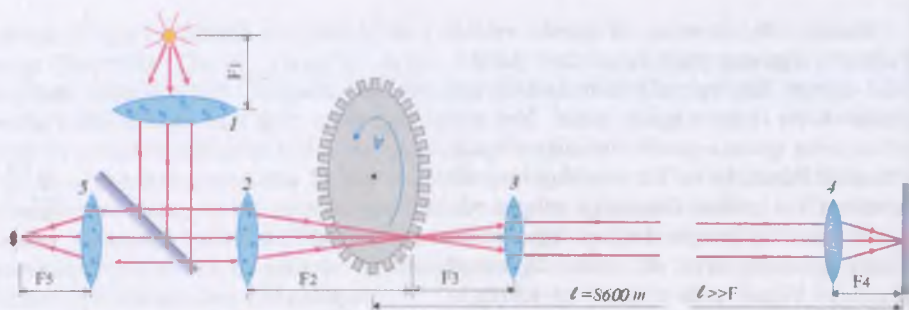
2. Laboratoriya usuli (Fizo usuli):

Yorug'lik tezligini birinchi marta laboratoriya usulida 1849-yil fransuz fizigi I.Fizo aniqlagan. Yorug'lik nuri linza va ko'zgu orqali aylanib turgan tishli g'ildiraklar orasiga yo'naltirildi. Tishli g'ildirakning chastotasi oshirib borilsa, kuzatuvchi ko'zgudan qaytib kelgan nurni goh ko'rar, goh ko'rmas edi. Buning sababi tishlar orasidan o'tgan nur 8,6 km masofadagi ko'zgudan qaytib kelganda nur yo'liga goh tirqish, goh to'siq to'g'ri kelishida edi. Aylanib turuvchi tishli g'ildiraklar orasidan o'tkazilib yuborilgan nurning 8,6 km masofadagi ko'zgudan qaytib kelish yo'li, g'ildirakning tishlar soni va aylanish chastotasini bilgan holda yorug'lik tezligining qiymatini topdi. Bunda u yorug'lik tezligi 313000 km/s ga teng deb chiqardi(43.2-rasm).

Linzalarning fokus masofalaridan 8600 m masofa juda katta, ya'ni $\ell \gg F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$. Shuning uchun, hisob-kitoblarga fokus masofani aralashtirmaymiz. Yorug'lik nurining odam ko'ziga tushguncha o'tgan yo'li taxminan 2ℓ ga teng. Yorug'lik nuri 2ℓ masofani c tezlik bilan $\Delta t = \frac{\ell}{c}$ vaqtda o'tadi. Bu vaqtda esa ν

chastota bilan aylanayotgan tishli g'ildirak biror $\Delta\varphi = \varphi_0 k = \frac{2\pi}{N} k$ burchakka buriladi.

Boshqa tomondan bu burilish burchagini aylanish chastotasi orqali



43.2-rasm

$$\Delta\varphi = \omega \Delta t = 2\pi\nu\Delta t$$

deb yozish mumkin. Bularni tenglashtirib yorug'lik tezligini topamiz.

$$2\pi\nu\Delta t = \frac{2\pi}{N}k; \rightarrow \Delta t = \frac{k}{\nu N} = \frac{\ell}{c}; \rightarrow c = \frac{2N}{k}\nu\ell$$

Shunday qilib, keling ko'zgu va tishli g'ildiraklar orasidagi masofa ℓ , g'ildirakning aylanish chastotasi ν , g'ildirakdagi tishlar soni N bo'lsin. Tishlar orasidan yuborilgan nur ko'zgudan qaytib kelganda fildirak k ta tish burchagiga burilib yana tirqishga to'g'ri kelib qolgan bo'lsin. Bunda yorug'lik tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$c = \frac{2N}{k}\nu\ell$$

Agar yuqoridagi formulada burilgan tishlar soni butun son ($k=1;2;3;4;\dots Z$) bo'lsa, kuzatuvchi ko'zgudan qaytgan nuri har doim ko'radi.

Agar burilgan tishlar soni yarimli butun son ($k=0,5;1,5;2,5;3,5;\dots(2Z-1)/2$) bo'lsa, kuzatuvchi ko'zgudan qaytgan nuri hech qachon ko'rmaydi.

Agar burilgan tishlar soni na butun son va na yarimli butun son bo'lsa, kuzatuvchiga ko'zgudan qaytgan nur goh ko'rinadi, goh ko'rinmaydi.

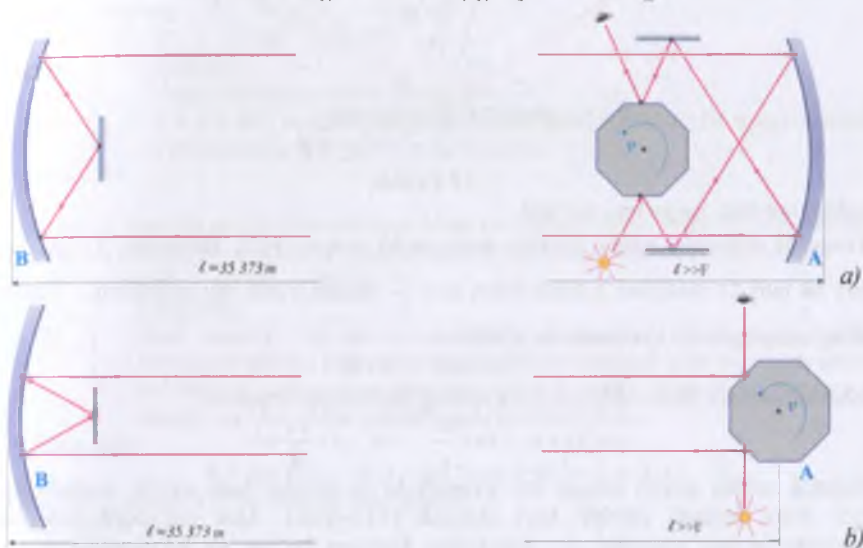
3. Laboratoriya usuli (Maykelson usuli):

Amerikalik fizik Maykelson Fizo va Fuko tajribalarini takomillashtirib tishli g'ildirak o'rniga 8 qirrali aylanuvchi prizmatik ko'zgudan foydalandi. Oralig'i $\ell = 35,373\text{ km}$ bo'lgan Vilson va San-antoniya tog'larida tajriba o'tkazdi. Maykelson yorug'lik tezligini 299796 km/s chiqardi (43.3-a,b,rasm). A va B nuqtalar Vilson va San-antoniya tog'laridagi sferik ko'zgular bo'lib, ular nurni qaytarishga mo'ljallangan. S manbadan chiqqan yorug'lik nuri prizmatik ko'zgu va sferik ko'zgulardan qaytib, so'ngra prizmatik ko'zguning boshqa yog'iga tushguncha o'tgan vaqt ichida katta chastota bilan aylanayotgan prizmatik ko'zgu ham biror burchakka buriladi. Tajriba jihozlarining ko'pchiligi, ya'ni prizmatik ko'zgu, yassi ko'zgu va kuzatuvchi A Vilson tog'ida bo'lib, faqat qaytaruvchi sferik va yassi ko'zgu $\ell = 35,373\text{ km}$ uzoqlikdagi B San-Antoniya tog'ida edi.

Keling, Maykelson tajribasida prizmatik ko'zgu qirralar soni N , aylanish chastotasi ν , A va B nuqtalar orasidagi masofa ℓ bo'lsin. Nur barcha yo'lni o'tib ko'zguning boshqa qirrasiga tushganda ko'zgu k ta qirraga burilgan bo'lsin. Sferik ko'zgularning fokus masofalaridan 35373 m masofa juda katta, ya'ni $\ell \gg F_1 + F_2$. Shuning uchun hisob-kitoblarga fokus masofani e'tiborga olmaymiz. Yorug'lik nurining odam ko'ziga tushguncha o'tgan yo'li taxminan 2ℓ ga teng. Yorug'lik nuri 2ℓ masofani c tezlik bilan

$\Delta t = \frac{\ell}{c}$ vaqtda o'tadi. Bu vaqtda esa ν chastota bilan aylanayotgan prizmatik ko'zgu biror $\Delta\varphi = \varphi_0 k = \frac{2\pi}{N} k$ burchakka buriladi. Boshqa tomondan bu burilish burchagini aylanish chastotasi orqali $\Delta\varphi = \omega \Delta t = 2\pi \nu \Delta t$ deb yozish mumkin. Bularni tenglashtirib yorug'lik tezligini topamiz.

$$2\pi \nu \Delta t = \frac{2\pi}{N} k, \rightarrow \Delta t = \frac{k}{\nu N} = \frac{\ell}{c}, \rightarrow c = \frac{2N}{k} \nu \ell$$



43.3-rasm

Shunday qilib, Mayelson yorug'lik tezligini aniqlashga imkon beruvchi ushbu formulani hosil qildi.

$$c = \frac{2N}{k} \nu \ell$$

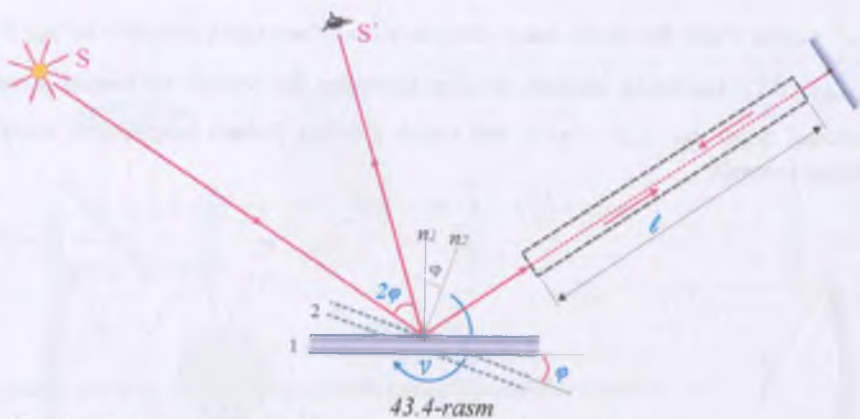
Agar yuqoridagi formulada burilgan tishlar soni butun son ($k = 1; 2; 3; 4; \dots Z$) bo'lsa, kuzatuvchi ko'zgulardan qaytgan nurni har doim ko'radi.

Agar burilgan tishlar soni yarimli butun son ($k = 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; \dots (2Z+1)/2$) bo'lsa, kuzatuvchi ko'zgulardan qaytgan nurni hech qachon ko'rmaydi.

Agar burilgan tishlar soni na butun son va na yarimli butun son bo'lsa, kuzatuvchiga ko'zgulardan qaytgan nur goh ko'rinadi, goh ko'rinmaydi.

Laboratoriya usuli (Fuko usuli):

Yorug'lik tezligini o'lchash uchun boshqacharoq usul qo'lladi. U aylanuvchi ikki yoqlama ko'zgudan foydalandi (43.4-rasm). SA y o'nalishida kelgan nur aylanuvchi ko'zguga tushib, so'ng yana qaytib nay ichiga yo'naladi. Nay uchidagi B ko'zgudan qaytib yana A nuqtaga tushadi. Bunda nur 2ℓ masofa bosib o'tadi, aylanuvchi ko'zgu esa ma'lum φ burchakka burilgan bo'ladi. B ko'zgudan qaytib kelgan nur A ko'zgudan ham qaytib S' nuqtadagi kuzatuvchining ko'ziga tushadi. Bu yerda AS va AS' nurlar



orasidagi burchak 2φ ga teng bo'ladi.

Yorug'lik nurining odam ko'ziga tushguncha o'tgan yo'li taxminan 2ℓ ga teng. Yorug'lik nuri 2ℓ masofani c tezlik bilan $\Delta t = \frac{2\ell}{c}$ vaqtda o'tadi. Bu vaqtda esa v chastota bilan aylanayotgan ikki yoqlama ko'zgu biror

$$\varphi = \omega \Delta t = 2\pi v \Delta t$$

burchakka buriladi. Bularni bilgan holda yorug'lik tezligini topamiz.

$$\varphi = 2\pi v \Delta t = 2\pi v \frac{2\ell}{c}, \rightarrow c = \frac{4\pi}{\varphi} v \ell.$$

Shuning uchun qaytib kelgan nur aylanuvchi ko'zgudan ham qaytib nuqtada qayd etiladi. Fuko tezlikni 296000 km/s chiqardi (115-rasm). Agar nur borib kelguncha aylanuvchi ko'zgu ixtiyoriy α burchakka burilgan bo'lsa, va ko'zguning aylanish chastotasi ν bo'lsa, yorug'lik tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$c = \frac{4\pi}{\varphi} v \ell$$

Fuko birinchi bo'lib yorug'likning suvdagi tezligini o'lchadi. U havodagi tezlikdan $4/3$ marta kichik, ya'ni suv uchun yorug'lik tezligi taxminan $222\,000 \text{ km/s}$ chiqdi. Eng zamonaviy usullar yorug'likning vakuumdagi tezligini juda aniq o'lchashga imkon berdi. Yorug'likning vakuumdagi tezligi $c = 299\,792\,456.2 \pm 0.8 \text{ m/s}$ ga teng bo'lib, olamdagi eng katta tezlikdir. Hech bir jismning tezligi bu tezlikka tenglasha olmaydi va o'ta olmaydi.

- ?
1. Yorug'lik tezligini o'lchashning astronomik usuli haqida so'zlab bering. Ryomer tezlikning qanday qiymatini olgan?
 2. Fizo usulini tushuntirib bering. U qanday qiymat olgan?
 3. Maykelson usulini tushuntirib bering. U qanday qiymat olgan?
 4. Fuko usulini tushuntirib bering. U qanday qiymat olgan?

VII BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Yassi ko'zgu o'z tekisligiga tik ravishda $1,5 \text{ sm/s}$ tezlik bilan Yorug'lik manbai tomon harakatlanmoqda. Ko'zgudagi tasviri qo'zg'almas bo'lishi uchun Yorug'lik manbai necha sm/s tezlik bilan va qaysi tomonga harakatlanishi kerak?

- A) 1,5, ko'zgudan B) 3, ko'zguga C) 3, ko'zgudan D) 1,5, ko'zguga

Berilgan:

$$v_1 = 1,5 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 1,5 \text{ m/s}$$

$$v_n = ?$$

Yechilishi:

Harakatning nisbiylik prinsipiga binoan qarama-qarshi harakatlanayotgan jismlarning bir-biriga nisbatan tezligi ular tezliklarining yig'indisiga teng, yani $v_n = v_1 + v_2 = 3 \text{ m/s}$ va ko'zgu harakati yo'nalishida harakatlanishi lozim.

Javob: C) 3, ko'zgudan.

2. Ko'zgu bilan tushaYotgan nur orasidagi burchak 35° ga teng. Yorug'likning qaytish burchagini aniqlang.

- A) 35° B) 70° C) 50° D) 55°

Berilgan:

$$\gamma = 35$$

$$\alpha_0 = ?$$

Yechilishi:

Yorug'likning qaytish qonuniga ko'ra

$\alpha + \gamma = 90^\circ$ va tushish burchagi qaytish burchagiga teng ($\alpha = \alpha_0$) ekanligini e'tiborga olsak $\alpha = 90^\circ - \gamma$ va $\alpha_0 = 55^\circ$

Javob: D) 55° .

3. O'zaro 30° burchak ostida joylashtirilgan ikkita ko'zguning biriga Yorug'lik nuri tushmoqda. Bunda ikkala ko'zgudan qaytgan nur bilan tushgan nur orasidagi burchak qanday bo'ladi?

- A) 90° B) 60° C) 45° D) 30°

Berilgan:

$$\gamma = 35^\circ$$

$$\theta = ?$$

Yechilishi:

Agar nurning 1-ko'zgu sirtiga tushish burchagini γ desak undan qaytish burchagini esa γ_0 , ikkinchi ko'zguga tushish burchagi φ bo'lsa undan qaytish burchagi φ_0 ga teng Yorug'likning qaytish qonuniga binoan $\gamma = \gamma_0$ va $\varphi = \varphi_0$ ekanligi ma'lum. Agar qidirilayotgan burchakni 0 deb

belgilasak, unda

$$\theta = 2\gamma + 2\varphi \text{ va } \alpha + 90^\circ - \varphi + 90^\circ - \gamma = 180^\circ$$

tenglamalarni yechib $\theta = 2\alpha$ ifodani hosil qilamiz.

$$\theta = 2 \cdot 30^\circ = 60^\circ.$$

Javob: B) 60° .

4. Yorug'lik nurining 1-muhitdan 2-muhitga o'tishida tushish burchagi 30° , sinish burchagi esa 60° . 2-muhitning 1-muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi qanday?

- A) 0,5 B) 2 C) $\sqrt{3}$ D) $\frac{\sqrt{3}}{3}$

Berilgan:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$n_{12} = ?$$

Yechilishi:

Yorug'likning sinish qonuniga ko'ra Yorug'lik ikki shaffof muhit chegarasiga tushganda tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan nur sindirish ko'rsatkichini ifodalaydi. Yani

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

ga teng. Bu ifodaga masala shartidagi qiymatlarni qo'yib

$$n_{21} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ natijani olamiz.}$$

Javob: D) $\frac{\sqrt{3}}{3}$.

5. Agar yorug'lik qandaydir vaqt davomida bo'shliqda 45 cm masofa o'tsa, biror suyuqlikda esa shunday vaqtda 30 cm masofa o'tsa, bu suyuqlikning sindirish ko'rsatkichi nimaga teng?

- A) 1,2 B) 1,3 C) 1,4 D) 1,5 E) 1,7

Berilgan:

$$S_1 = 45 \text{ sm}; \\ S_2 = 30 \text{ sm}; \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

$n = ?$

Yechilishi:

Vakuum ham, suyuqlik ham bir jinsli muhit bo'lganligi sababli yorug'likning bu muhitlarda tekis xarakatlanib tarqalishi malum. Tekis xarakat uchun bir xil vaqt davomida o'tgan yo'llarining nisbati uning shu muhitlardagi tezliklari nisbatini ifodalaydi, yani

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{c}{v} \text{ bundan } v = \frac{cS_2}{S_1} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

yorug'likning suyuqlikdagi tezligidan foydalangan holda suyuqlikning sindirish ko'rsatkichini aniqlaymiz. $n = \frac{c}{v} = 1,5$

Javob: D)

6. Suvning sindirish ko'rsatkichi 1,33; shishaniki 1,5. Shishaning suvga nisbatan sindirish ko'rsatkichini toping.

A) 1,13 B) 1,25 C) 1,33 D) 1,5

Berilgan:

$$n_1 = 1,33 \\ n_2 = 1,5$$

$n = ?$

Yechilishi:

Muhitlarning vakuumga nisbatan nur sindirish ko'rsatkichlari shu muhitning absolyut nur sindirish ko'rsatkichi deyiladi. Endi bir muhitning vakuumdan boshqa bir muhitga nisbatan nur sindirish ko'rsatkichi bu muhitlarning birini ikkinchisiga nisbatan nur sindirish

ko'rsatkichini ifodalaydi, yani $n = \frac{n_2}{n_1}$ bunda n_1 birinchi muhitning absolyut nur sindirish

ko'rsatkichi, n_2 esa ikkinchi muhitning absolyut nur sindirish ko'rsatkichi n esa ikkinchi muhitni birinchi muhitga nisbatan nisbiy nur sindirish ko'rsatkichini ifodalaydi. $n = \frac{n_2}{n_1} = 1,12$

Javob: A) 1,13 .

7. Rasmda ko'rsatilgandek havodan tushayotgan nur sindirish ko'rsatkichi 2 bo'lgan prizmaning ichida tomondan to'la qaytishi uchun α burchakning eng kichik qiymati necna gradus bo'lishi kerak?

A) 30 B) 15 C) 45 D) 60 E) 75

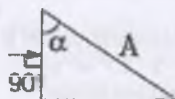
Berilgan:

$$n = 2$$

$\alpha = ?$

Yechilishi:

Chizmadan ko'rinadiki to'la qaytish chegaraviy burchagi $\alpha_0 = 90^\circ - \alpha$ ga teng. Bundanto'la qaytish chegaraviy burchagi ifodasiga ko'ra $\cos \alpha_0 = \frac{1}{n} = \frac{1}{2}$ demak $\alpha_0 = 30^\circ$



8. Fokus masofasi 36 sm bo'lgan linzadan 18 sm uzoqlikda joylashgan buyumning kattalashgan mavhum tasviri linzadan necha cm masofada hosil bo'ladi?

A) 36 B) 18 C) 12 D) 9 E) 6

Berilgan:

$$F = 36 \text{ sm}; d = 18 \text{ sm};$$

$f = ?$

Yechilishi:

$d < F$ bo'lganda kattalashgan tasvir hosil bo'lganligidan linzaning sochuvchi ekanligini bilish mumkin. Sochuvchi linza formulasi $\frac{1}{f} = \frac{1}{d} -$

$\frac{1}{F}$ dan foydalanib tasvir va linza orasidagi masofani topamiz.

$$f = \frac{Fd}{F-d} = 36 \text{ sm}$$

demak tasvir linzadan chapda 36 sm masofada hosil bo'ladi.

Javob: A)

9. Fokus masofasi 5 sm bo'lgan lupa yordamida buyumning mavhum tasviri undan (lupadan) 10 sm masofada hosil qilindi. Lupaning kattalashtirishi qanday.

A) 10 B) 6 C) 5 D) 3 E) 2

Berilgan:

$$F = 1 \text{ m}; f = 3 \text{ m};$$

$$k = ?$$

Yechilishi:

Lupalardan sochuvchi linzalar sifatida foydalaniladi. Shuning uchun

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} \text{ ifodadan } d = \frac{Ff}{f-F} = \frac{10}{3} \text{ sm. Lupaning chiziqli kattalashtirishi}$$

$$k = \frac{f}{d} = 3 \text{ ga teng.}$$

Javob: D)

10. Yorug'lik to'lqini bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda, tezligi 2 marta oshdi. Shu tizim uchun to'la qaytishning chegaraviy burchagi qanday?

A) 90° . B) 60° C) 45° D) 30° E) 15°

Berilgan:

$$\frac{v_2}{v_1} = 2; \beta = 90^\circ;$$

$$\alpha = ?$$

Yechilishi:

$$\text{Yorug'likning sinish qonuniga ko'ra } \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \text{ bundan}$$

$$\text{to'la qaytish chegaraviy burchagi } \alpha = \arcsin \frac{1}{2} = 30^\circ \text{ ga teng}$$

Javob: D)

11. 8 m uzunlikdagi binoning fokus masofasi 5 sm bo'lgan fotoapparat yordamida olingan tasviri uzunligi 0,01 m bo'lsa, bino necha metr masofadan rasmga olingan?

A) 4. B) 40,05. C) 41. D) 13. E) 4,1.

Berilgan:

$$h = 8 \text{ m};$$

$$H = 0,01 \text{ m};$$

$$F = 5 \text{ sm};$$

$$d = ?$$

Yechish:

Fotoapparatdagi linza yig'uvchi bo'lganligi uchun

$$\text{linzaning kattalashtirishi ifodasi } k = \frac{f}{d} = \frac{H}{h} \text{ dan foydalangan holda } f$$

$$= \frac{dH}{h} \quad f = 800d. \text{ Yig'uvchi linza formulasidan linza formulasi dan}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{801}{d} \text{ bunda } d = 801F = 40,05 \text{ m}$$

Javob: B)

12. Nuqsonsiz ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi 25 cm. Uzoqdan ko'rar odam ko'zining eng yaxshi ko'rish masofasi 1 m bo'lsa, bu odam optik kuchi qanday (D) bo'lgan ko'zoynak taqishi kerak?

A) aniqlab bo'lmaydi B) +1 C) +4 D) -3 E) +3

Berilgan:

$$L_0 = 25 \text{ sm};$$

$$l = 1 \text{ m};$$

$$D_k = ?$$

Yechish:

Nuqsonli ko'z normal ko'rishi uchun nuqsonli ko'zning optik kuchi bilan ko'zoynakning optik kuchlarining yig'indisi normal ko'zning

optik kuchiga teng bo'lishi kerak yani $D_n = D_o + D_k$

$$\text{Bundan } D_k = \frac{1}{L_0} - \frac{1}{l} = +3 \text{ dptr}$$

Javob: E)

13. Buyumning 5 marta kattalashgan tasvirini hosil qilish uchun optik kuchi qanday linza kerak? Uni buyumdan qanday masofaga qo'yish kerak? Buyumdan ekrangacha masofa 3 m.

A) 2,6 dptr, 2 m. B) 3 dptr, 1 m. S) 2,4 dptr, 0,5 m.

D) 2 dptr, 0,5 m. E) 1 dptr, 1,5 m

Berilgan:

$$k = 5; d + f = 3$$

$$d = ? \quad D = ?$$

Yechilishi:

$$\text{Linzaning kattalashtirishidan } d + f = 3$$

$$d + 5d = 6d = 30$$

$$d = 0,5 \text{ m}$$

linza formulasidan $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ dan foydalanib

$$D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{3}{1,25} = 2,4 \text{ Dprt}$$

Javob: C)

14. 8 m uzunlikdagi binoning fokus masofasi 5 sm bo'lgan fotoapparat yordamida olingan tasviri uzunligi 0,01 m bo'lsa, bino necha metr masofadan rasmga olingan?

- A) 4 B) 40,05. C) 41 D) 13 E) 4,1.

Berilgan:

$$h = 8 \text{ m};$$

$$H = 0,01 \text{ m};$$

$$F = 5 \text{ sm};$$

$$d = ?$$

Yechish:

Fotoapparatdagi linza yig'uvchi bo'lganligi uchun

linzaning kattalashtirishi ifodasi $k = \frac{f}{d} = \frac{H}{h}$ dan foydalangan holda f

$$= \frac{dH}{h} \quad f = 800d. \quad \text{Yig'uvchi linza formulasidan linza formulasi dan}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{801}{d} \quad \text{bunda} \quad d = 801F = 40,05 \text{ m}$$

Javob: B)



VII BOBGA DOIR TESTLAR

1. Yorug'lik nuri nima?

- A) yorug'lik manbai bilan kuzatilayotgan nuqtani birlashtiruvchi to'g'ri chiziq
B) B tebranishlarining yo'nalishini ko'rsatuvchi chiziq
C) E tebranishlarining yo'nalishini ko'rsatuvchi chiziq
D) yorug'lik energiyasi tarqalayotgan chiziq
E) TJY.

2. Vakuumdagi uzunligi $0,75 \mu\text{m}$ bo'lgan yorug'likning chastotasini toping (Hz).

- A) $5 \cdot 10^{14}$ B) $4 \cdot 10^{14}$ C) $7,5 \cdot 10^{14}$ D) $5 \cdot 10^{15}$

3. Yassi ko'zgu o'z tekisligiga tik ravishda $1,5 \text{ sm/s}$ tezlik bilan yorug'lik manbai tomon harakatlanmoqda. Ko'zgudagi tasviri qo'zg'almas bo'lishi uchun yorug'lik manbai necha sm/s tezlik bilan va qaysi tomonga harakatlanishi kerak?

- A) $1,5$, ko'zgudan. B) 3 , ko'zguga.
C) 3 , ko'zgudan. D) $1,5$, ko'zguga

4. Yorug'lik bir muhitdan ikkinchisiga o'tganda tushish burchagi 60° ga, sinish burchagi 30° ga teng. Ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichini aniqlang.

- A) $1/2$ B) $\frac{1}{\sqrt{3}}$ C) $1,5$ D) $\sqrt{3}$

5. Nur shishadan havoga o'tmoqda. Tushish burchagi 30° . Nur singanda, o'z yo'nalishini 30° ga o'zgartirgan bo'lsa, snishaning sindirish ko'rsatkichi qanday?

- A) $\sqrt{2}$ B) $\sqrt{3}$ C) 2 D) $\frac{2}{\sqrt{2}}$

6. Sinish burchagi tushish burchagidan katta bo'la oladimi?

- A) hamma holda katta bo'ladi
B) nur optik zichligi kichikroq muhitdan optikzichligi kattaroq muhitga o'tganda
C) nur optik zichligi kattaroq muhitdan optikzichligi kichikroq muhitga o'tganda
D) nur vakuumdan muhitga o'tganda E) bunday hoi bo'lmaydi

7. Agar numing ikki muhit chegarasiga tushish burchagi oshirilsa, bu muhitlarning nisbiy sindirish ko'rsatkichi...

A) oshadi B) o'zgarmaydi C) keskin oshadi D) kamayadi E) TJY

8. Singan nur qaytgan nur bilan 90° tashkil etadi. Agar tushish burchagi α ning $\sin \alpha = 0,8$ ga teng bo'lsa, sindirish ko'rsatkichi qanday?

A) 1 B) 1,25 C) 1,33 D) 1,5 E) 1

9. Vakuumba to'lqin uzunligi $\lambda_0 = 0,76 \text{ } \mu\text{m}$ bo'lgan yorug'lik uchun suvning sindirish ko'rsatkichi $n_1 = 1,329$, $\lambda_2 = 0,7 \text{ } \mu\text{m}$ bo'lgan yorug'lik uchun $n_2 = 1,344$ bo'lsa, nurlarning suvdagi tezliklari nisbati qanday?

A) 1,01 B) 1,05 C) 1,10 D) 1,20 E) 1,40

10. Agar 600 nm to'lqin uzunlikdagi yorug'lik vakuumdan biror muhitga o'tganda, tezligi 40% ga kamaygan bo'lsa, yorug'likning shu muhitdagi to'lqin uzunligi qanday (nm)?

A) 240 B) 360 C) 750 D) 1000 E) 1500

11. Yorug'lik suvdan shishaga o'tganda, to'la qaytish yuz berishi mumkinmi?

A) mumkin, chunki shisha yorug'likni qaytaradi.

B) mumkin, chunki suvning sindirish ko'rsatkichi shishanikidan katta.

C) mumkin emas, chunki suvning sindirish ko'rsatkichi shishanikidan kichik.

D) mumkin emas, chunki suvning va shishaning sindirish ko'rsatkichlari bir xil.

E) TJY.

12. Suv, shisha va olmosning havoga nisbatan sindirish ko'rsatkichlari $1,33$; $1,5$ va $2,42$ ga teng. Shu moddalardan qaysi birida to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi eng kichik bo'ladi?

A) olmosda B) shishada C) suvda D) hamma moddalarda bir xil

E) bu moddalarda to'la ichki qaytish hodisasi kuzatilmaydi.

13. Nur shishadan vakuumga chiqmoqda. Agar bunda to'la ichki qaytish burchagi α_0 bo'lsa yorug'likning shishadagi tezligini qanday

A) $c \cdot \text{ctg} \alpha$ B) $c \cdot \cos \alpha_0$ C) $\frac{c}{\text{tg} \alpha_0}$ D) $\frac{c}{\sin \alpha_0}$ E) $c \cdot \sin \alpha_0$

14. Fokus masofasi 5 sm bo'lgan lupa yordamida buyumning mavhum tasviri undan (lupadan) 10 cm masofada hosil qilindi. Lupaning kattalashtirishi qanday.

A) 10 B) 6 C) 5 D) 3 E) 2

15. Buyum bilan yig'uvchi linza oraliqi $3F$. Linzaning fokus masofasi F bo'lsa, tasvirning o'lchami buyum o'lchamidan necha marta katta bo'ladi?

A) 3 B) 2 C) 1 D) 0,5 E) 0,25

16. Yig'uvchi linzadan buyumgacha bo'lgan masofa fokus masofadan uch marta katta bo'lsa, kattalashtirish koeffitsiyenti qanday?

A) 3 B) 2 C) 1,5 D) 0,75 E) 0,5

17. Agar haqiqiy tasvir buyumdan 3 marta kichik bo'lsa, buyum linzadan qanday masofada joylashgan? Linzaning fokus masofasi F .

A) $\frac{4}{3F}$ B) $1,5F$ C) $2F$ D) $4F$ E) $6F$

18. Yorug'lik dastasi fokus masofalari F_1 va F_2 bo'lgan ikki linzadan iborat sistemadan o'tmoqda. Bu sistemadan chiqqanda dasta nurlari parallelligicha cha qolishi uchun linzalar orasidagi masofa qanday bo'lishi kerak?

- A) F_1 B) $F_1 + F_2$ C) $\frac{(F_1 + F_2)}{2}$ D) F_2 E) $|F_1 - F_2|$

19. Linzaning fokus masofasi 4 sm. Lizaning optik kuchi necha dioptriya?

- A) 25 B) 4 C) 0,4 D) 0,25 E) TJY

20. Buyum optik kuchi 1 D bo'lgan sochuvchi linzadan 4 m uzoqlikda turibdi. Tasvir linzadan qanday (m) masofada hosil bo'ladi?

- A) 3 B) 1,25 C) 1,33 D) 1 E) 0,8

21. Balandligi 3 m bo'lgan vagonni suratga olishda uning fotoplenkadam balandligi 12 mm bo'ldi. Agar fotoapparat ob'ektivining fokus masofasi 20 sm bo'lsa, surat qanday masofadan olingan (m)?

- A) 60 B) 50 C) 40 D) 30 E) 20.

22. Nuqsonsiz ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi 25 sm. Uzoqdan ko'rar odam ko'zining eng yaxshi ko'rish masofasi 1 m bo'lsa, bu odam optik kuchi qanday (*dptr*) bo'lgan ko'zoynak taqishi kerak?

- A) aniqlab bo'lmaydi. B) +1 C) +4 D) -3 E) +3

23. Kishi kitobni 0,5 m masofadan o'qiyapti. 25 sm masofadan normal o'qishi uchun unga optik kuchi qanday ko'zoynak kerak bo'ladi (*dptr*)?

- A) -2,5 B) -2 C) +2 D) +2,5 E) +3



VII BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Ko'zgu bilan tushayotgan nur orasidagi burchak 35° ga teng. yorug'likning qaytish burchagini aniqlang.

2. Agar olmosda chastotasi $2,73 \cdot 10^{14}$ Hz bo'lgan yorug'likning to'lqin uzunligi 450 nm bo'lsa, yorug'likning olmosdagi tezligi qanday (m/s) bo'ladi?

3. Yorug'lik bir muhitdan ikkinchisiga o'tganda tushish burchagi 60° ga, sinish burchagi 30° ga teng. Ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichini aniqlang.

4. Havodan sindirish ko'rsatkichi $n = \sqrt{3}$ bo'lgan muhitga nur tushganda, qaytgan nur bilan singan nur orasidagi burchak 90° ga teng bo'ldi. Nurning tushish burchagi qanday?

5. Yorug'lik nuri suyuqlikdan vakuumga o'tmogda. Tushish burchagi 30° . qaytgan va singan nurlar bir-biriga tik. Bu suyuqlikning sindirish ko'rsatkichi qanday?

6. Birinchi muhitning ikkinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi 2 ga teng bo'lsa, to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi qanday bo'ladi?

7. Nurning ikki muhit chegarasiga tushish burchagi 30° bo'lganda sinish burchagi 45° ekanligini bilgan holda to'la qaytishning chegaraviy burchagini toping.

8. Buyum bilan uning yig'uvchi linzadagi haqiqiy tasviri orasidagi masofa 2,5 m. Linzadan tasvirigacha bo'lgan masofa esa 2 m bo'lsa, linzaning kattalashtirish koeffitsiyenti qanday?

9. Fokus masofasi 15 sm bo'lgan linzadan 10 sm masofada joylashgan buyumning kichiklashgan tasviri linzadan qanday masofada hosil bo'ladi?

10. Optik kuchi -4 D bo'lgan sochuvchi linzadan 1 m masofada joylashgan buyumning tasviri linzadan qanday masofada hosil bo'ladi?

11. Uzoqdan ko'ruvchi odamning eng yaxshi ko'rish masofasi 40 sm. Bu odamga zarur bo'lgan ko'zoynakning optik kuchini toping (*dptr*).

12. Agar yaqindan ko'rar kishi 12,5 sm masofadan o'qiy olsa, u optik kuchi qanday (*dptr*) bo'lgan ko'zoynak taqishi kerak bo'ladi?
13. Kishi ko'zidan ko'zoynakni olib, kitobni 20 sm uzoqda tutgan holda o'qiydi. Ko'zoynakning optik kuchi qanday (*dptr*)?
14. Yassi ko'zgu oldida stol lampasi turibdi. Agar ko'zgu lampadan 10 sm uzoqlashtirilsa, lampadan uning tasviri orasidagi masofa qancha o'zgaradi?
15. Gorizontall yorug'lik nuri vertikal joylashgan yassi ko'zguga tushadi. Ko'zgu o'z o'q atrofidan 15° burchakda burilsa, qaytgan nur qancha burchakda buriladi?
16. Nur gorizontall yo'nalishda qaytishi uchun yassi ko'zguni vertikal tushayotgan nurga nisbatan qanday joylashtirish kerak?
17. Yassi ko'zguni fokus masofasi qanday?
18. Botiq sferik ko'zguda buyumning o'zidan ikki marta katta tasvirini hosil qilish uchun uni ko'zgudan qanday masofada joylashtirish kerak? Ko'zguning fokus masofasi 20 sm ga teng.
19. Botiq sferik ko'zguning fokus masofasi 30 sm ga teng. Uning egrilik radiusi va optik kuchi qanday bo'ladi?
20. Qavariq ko'zgudan 1 m masofada turgan shu'lalanuvchi nuqtaning tasviri optik o'qning ko'zgu qutbi bilan fokusi orasidagi qismini teng ikkiga bo'ladi. Ko'zguning egrilik radiusini toping.
21. Qavariq sferik ko'zguning egrilik radiusi 60 sm. Ko'zgudan 10 sm uzoqlikda balandligi 2 sm bo'lgan buyum qo'yilgan. Tasvirning vaziyati va balandligini toping.
22. Botiq sferik ko'zguning fokus masofasi 1 m ga teng. Yorug'likning nuqtaviy manbai bilan uning tasviri bir-birining ustiga tushishi uchun manbani ko'zgudan qanday masofada joylashtirish kerak?
23. Nur shisha prizmaning yon qirrasiga 0° burchak ostida tushmoqda. Prizmaning sindirish burchagi 3° . Nurning prizmadan og'ish burchagini toping.
24. Ariq tubida kichik tosh yotipdi. Bola tayoq bilan toshni surmoqchi. Bola toshni mo'ljalga olib tayoqni 40° burchak ostida ushlab turipdi. Agar ariqning chuqurligi 50 sm bo'lsa, tayoq ariq tubiga toshdan qancha masofada taqaladi.
25. Hovuzning tubiga balandligi 1 m bo'lgan qoziq qoqilgan. Agar Quyosh nuri suv sirtiga 60° burchak ostida tushayotgan bo'lsa va qoziq batamom suvning ostida bo'lsa, qoziqning hovuz tubidagi soyasining uzunligini toping.
26. Sindirish ko'rsatkichi 1,56 bo'lgan shishadan optik kuchi 8 *dptr* bo'lgan linza tayyorlash kerak. Agar linza yoqlarining egriligi birday bo'lsa, bu sirtlarning egrilik radiuslari nimaga teng?
27. Agar shishadan tayyorlangan linzaning qavariq linzaning fokus masofasi bu linzaning egrilik radiusiga teng bo'lsa, shishaning egrilik radiusi nimaga teng?
28. Qavariq linzadan 40 sm uzoqlikdagi buyumning tasviri linzadan 15 sm narida hosil bo'lgan. Agar buyumning kattaligi 60 sm bo'lsa, linzaning fokus masofasi qancha bo'ladi? Buyum tasvirining kattaligi qanday bo'ladi?

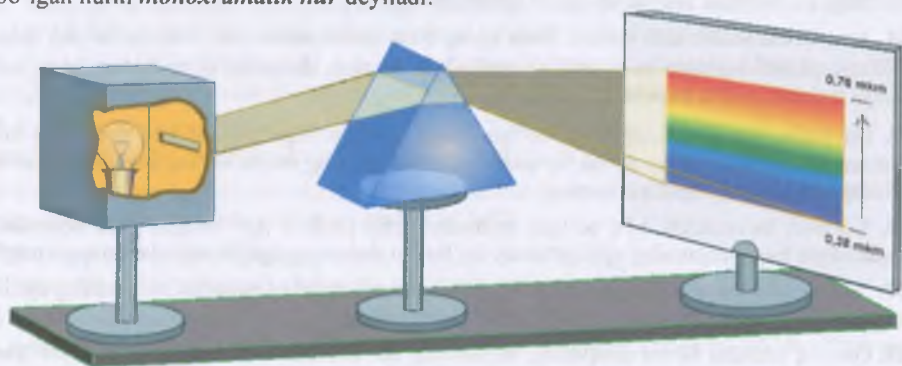
To'liqin optikasi - yorug'likning xossalari va uning modda bilan bo'ladigan ta'sirini o'rganuvchi optikaning bir bo'limi. Geometrik optikada to'siq yoki tirqishlardan o'tgach nur aniq soyalar hosil qilsa, fizik optikada esa yorug'likning to'siq va tirqishlarni aylanib o'tish xossalari o'rganiladi. Bundan tashqari dispersiya, interferensiya, qutblanish kabi hodisalari ham o'rganiladi. Fizik optikani to'liqin optikasi deb ham ataladi. To'liqin optikasini ba'zida fizik optika deb ham yuritiladi.



§ 44. YORUG'LIK DISPERSIYASI.

Dispersiya hodisasi:

Ingliz olimi Nyuton teleskoplar bilan ishlayotganda yub'ektiv hosil qilgan tasvir chetlari turli ranglarda bo'yalganiga e'tibor berdi. Nyuton ushbu hodisaga qiziqib qoldi va dunyoda birinchi marta yorug'lik nurlarining turli-tuman ranglardan iboratligini aniqladi. Nyutonning laboratoriyaxonasiga deraza tirqishidan yorug'lik o'tadi va bu yorug'lik nurlari stol ustidagi uchburchakli shisha prizma tushadi. Natijada devorda yetti xil kamalak ranglari paydo bo'ladi. Bu kamalak alohida rangga bo'yalgan polosasimon bo'lib, ulra ma'lum tartibda joylashgandi. Eng tepadan qizil, qizg'ish, sariq, yashil, havorang, ko'k va binafsha rangidagi polosalar edi. Nyuton derazadagi tirqishni qizil shisha bilan berkitganda devorda faqat qizil polosa, ko'k shisha bilan berkitganda esa faqat ko'k polosa va hokoza paydo bo'lib, qolgan polosalar yo'qolar edi. O'sha paytgacha prizma yorug'likni turli ranglarga bo'yaydi degan fikrning noto'g'ri ekanligini isbotladi. Kamalakning turli rangdagi polosalarini Nyuton *spektrlar* deb atadi (44.1-rasm). Tabiiy yorug'lik nurini (Quyosh va yulduzlar nurlari, cho'g'lanma lampa nuri va h.) *oq yorug'lik* deb ataladi. Oq yorug'lik murakkab bo'lib, prizma tushganda undan 7 xil nur ajralib chiqadi. Har bir rang o'zining chastotasi va to'liqin uzunligiga ega. Bitta rangga ega bo'lgan nurni *monoxromatik nur* deyiladi.



44.1-rasm

Demak, tabiiy yorug'lik nuri turli spektrlar yoki monoxromatik nurlar aralashmasidan iborat bo'lib, bu nurlarni shisha prizma turlicha sindirar ekan. Natijada devorda spektrlarning geometrik o'rni har xil joylarda bo'lar ekan. Jumladan, qizil nurning shisha prizma ta'sirchanligi eng past bo'lib, u eng kam burchakka sinar ekan. Binafsha nurning shisha prizma ta'sirchanligi esa eng yuqori bo'lib, u eng ko'p burchakka og'ar ekan. Demak, shaffof muhit turli spektrlarni turlicha sindirar ekan.

Muhit nur sindirish ko'rsatkichining yorug'lik to'lqin uzunligiga (yoki) chastotasiga bog'liq bo'lishiga yorug'lik dispersiyasi deyiladi.

Dispersiya so'zi lotincha so'z bo'lib, *dispergo* – sochaman deganidir. Dispersiya hodisasini quyidagicha ta'riflash ham mumkin:

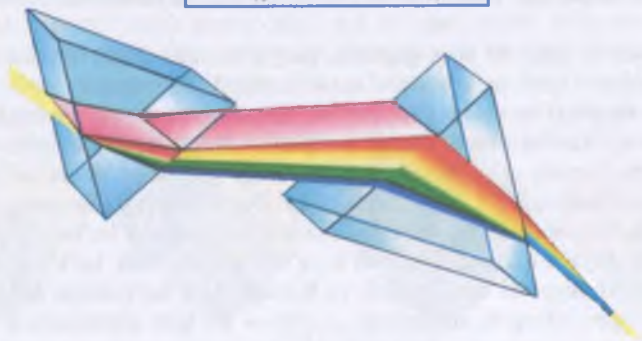
Nur sindirish ko'rsatkichining yorug'likning rangiga bog'liqligi dispersiya deyiladi.

Oq nurning prizmadan o'tishida nurlarga ajralishiga sabab, turli ranglar uchun prizmaning nur sindirish ko'rsatkichi turlicha bo'lishi va turli burchakka og'ishidir. Oldingi bobda yorug'likning sinish qonunida suvning absolyut nur sindirish ko'rsatkichi $n=1,3$ ga teng, shishaniki esa $n=1,6$ ga teng va hokoza degan edik. Aslida esa bu kattaliklar o'rtacha olingan qiymatlar bo'lib, u to'lqin uzunligi $\lambda = 555 \text{ nm}$ bo'lgan yashil to'lqin uchun o'rinlidir. Shishaning yashil to'lqin uchun absolyut nur sindirish ko'rsatkichi $n=1,6$ ga teng bo'lsa, qizil to'lqin uchun $n < 1,6$ va binafsha to'lqin uchun $n > 1,6$ bo'ladi. Demak, barcha spektrlar uchun absolyut nur sindirish ko'rsatkichlari

$n_{\text{qizil}} < n_{\text{qizil-g'ol}} < n_{\text{sariq}} < n_{\text{yashil}} < n_{\text{havonang}} < n_{\text{ko'k}} < n_{\text{binafsha}}$ tartibida bo'lar ekan, ya'ni chastota oshib borishi bilan nur sindirish ko'rsatkichining qiymatlari ham oshib borar ekan. Chastota oshib borishi bilan nur sindirish ko'rsatkichi qiymatining oshib borishiga **normal dispersiya** deyiladi. Aksincha, chastota oshib borishi bilan nur sindirish ko'rsatkichi qiymatining kamayib borishiga esa **anomal dispersiya** deyiladi. Oq yorug'lik tarkibidagi barcha spektrlar shaffof muhitga tushganda normal dispersiya sodir bo'ladi.

Nur bir muhitdan boshqa muhitga o'tganda nurning chastotasi o'zgarmaydi. To'lqin uzunligi va tezligi o'zgaradi. Monoxromatik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga o'tganda chastotasi va rangi o'zgarmaydi, tezligi va to'lqin uzunligi qisqaradi.

$$g = \frac{c}{n}, \quad \lambda_{\text{muhit}} = \frac{\lambda_{\text{vakuum}}}{n}$$



44.2-rasm

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, shaffof muhitda qizil nuri eng tez, binafsha nuri esa eng sekin tarqalar ekan. Biror qalinlikdagi parallel plastinkadan o'tganda, qizil nur eng avval, binafsha nuri esa eng kechikib chiqar ekan. Bo'shliqda, ya'ni vakuumda barcha rangdagi nurlar bir xil $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ tezlik bilan tarqaladi. Agar shunday bo'lmaganda edi, astronom Ryomerning kuzatishlarida Yupiter yo'ldoshi Io soyaga kirish oldidan binafsha rangda, soyadan chiqishda esa qizil rangda ko'ringan bo'lar edi.



44.3-rasm

Shaffof muhitga o'tganda yorug'likning to'liq uzunligi o'zgaradi degani bu uning rangi o'zgaradi degani emas. Muhit ichida ham nur o'z rangini saqlab qoladi. Agar prizmadan turli rangga ajralgan nurlar yana qo'shilsa oq yorug'lik hosil bo'ladi (44.2-rasm). Ko'zga ko'rinadigan nurlarning to'liq uzunligi 1-jadvalda berilgan (44.3-rasm).

44.1-jadval

Rangi	To'liq uzunligi, nm	Rangi	To'liq uzunligi, nm
Qizil	770 – 620	Yashil	550 – 510
Qizg'ish	620 – 585	Havorang	510 – 480
Sariq	585 – 575	Ko'k	480 – 450
Yashil-Sariq	575 – 550	Binafsha	450 – 390

Jismlarning rangi:

Oq yorug'likning tuzilishi juda murakkab bo'lib, ettita asosiy kamalak ranglarining har biri yana minlab ranglarga bo'linadi. Ana shuning uchun ham tabiat juda rang-barangdir. Aksincha, agar ranglar bo'lmaganda esa barcha jismlar bir xil oq-qora rangda ko'rinar edi.

Ranglar haqida shuncha ko'p gapirdik, rang o'zi nima degan savol tug'iladi. Nima uchun ba'zi nurlarni qizil, ba'zi nurlarni esa ko'k rangda ko'ryapmiz?

– Har bir rangdagi monoxromatik nur o'z chastotasi va to'liq uzunligiga ega bo'lib, barcha rangdagi nurlar elektromagnit to'liqindir. Aslida tabiatda hech qanday rang bo'lmasdan, bu bizning miyamizning ko'zga tushgan nurlarga aks-ta'siridir, ya'ni rang miyaning psixo-fiziologik xususiyati mahsulidir. Barcha nurlarga miyaning ta'sirchanligi turlicha bo'lib, turli nurlarga miyaning aks-sadosi ham turlicha bo'ladi. Ko'zimizga qizil nur tushganda miyada qizil qilib ko'rish tuyg'usi hosil bo'ladi, ko'k nur tushganda esa ko'k qilib ko'rish tuyg'usi hosil bo'ladi va hokoza. Agar ko'zimizga to'liq uzunliklari $\lambda > 760\text{nm}$ bo'lgan infraqizil nurlar yoki $\lambda < 400\text{nm}$ bo'lgan ultrabinafsha nurlar tushsa, miyada bu nurlarga nisbatan hech qanday bir ta'sirchanlik, aks-sado yoki sezgi uyg'otilmaydi. Demak, bu nurlarni biz ko'rmaymiz. Ko'zimiz yashil nurlarni eng yaxshi ko'radi.

Endi jismlar nega turli ranglarda ko'rinadi degan savol tug'iladi. Aytaylik olmaning rangi qizil, o'simliklar yashil rangda va hokoza. Nima, qizil olmaning molekullari qizil rangga, o'simliklarning molekullari yashil rangga bo'yab qo'yilganmi?

– Har qanday jism biror turdagi molekullardan tashkil topgan bo'lib, bu molekullar esa elektron qobiqqa ega. Eng tashqi elektron qobiq optik qobiq yoki kimyaviy qobiq yoki valent qobiq deyiladi. Ana shu tashqi elektron qobiqlar unga kelib tushgan biror chastotali nurni yutsa, boshqa qaysinisidir qaytaradi va yana qaysidir bir chastotali nurni

esa o'tkazib yuboradi. Ushbu holat turli jism molekularida turlicha bo'ladi. Masalan, qizil olma qobig'i unga kelib tushgan barcha nurlardan qizil nurni qaytarib, qolganlarini esa yutish xususiyatiga ega. O'simliklar esa yashil nurni qaytarib, qolganlarini yutish xususiyatiga ega. Ana shuning uchun ham olma qizil rangda, o'simliklar esa yashil rangda ko'rinadi. Demak, biz jismlarni ular qaytargan nur rangiga bo'yalgan qilib ko'rar ekanmiz. Yana shuni ta'kidlash kerakki, modda va jismlarning molekulari biror bir rangga bo'yalmagan. Agar shunday bo'lganda edi, qop-qorong'u joyda ham olmani qizil rangda, o'simliklarni yashil rangda ko'rgan bo'lar edik.

Shaffof jismlarning rangi turlicha bo'ladi, buning sababi nimada? Nega shishalar turlicha ko'k, sariq, yashil bo'lib ko'rinadi?

– Shaffof jismlarda o'ziga tushgan yorug'lik nurini o'tkazib yuborish xususiyati kuchli bo'lib, bu xususiyat yorug'lik tarkibidagi barcha nurlar uchun birday emas. Qaysidir nurni o'tkazib, qolganlarini esa yutib qoladi. Masalan, ko'k shisha boshqa nurlarni yutib, aynan ko'k nurni o'tkazib yuboradi. Demak, biz shaffof jismlarni ular yutmasdan o'tkazib yuborgan nur rangiga bo'yalgan qilib ko'rar ekanmiz.

Nega kamalak spektrlari tarkibida etti xil rang boru, lekin oq va qora rang yo'q?

– Agar biror jism uning sirtiga tushayotgan barcha rangdagi nurlarni yutib qolsa, shu jismni biz qora qilib ko'ramiz. Aksincha, jism unga tushayotgan barcha nurlarni qaytarsa, o'sha jism oq bo'lib ko'rinadi. Deyarli barcha nurlarni yutadigan jism qoramtir rangda, deyarli barcha nurlarni qaytaradigan jism esa oqish rangda ko'rinadi.

–Biror rangli jismga boshqa rangdagi shisha orqali qaralsa, u qora rangda ko'rinishining sababi nimada?

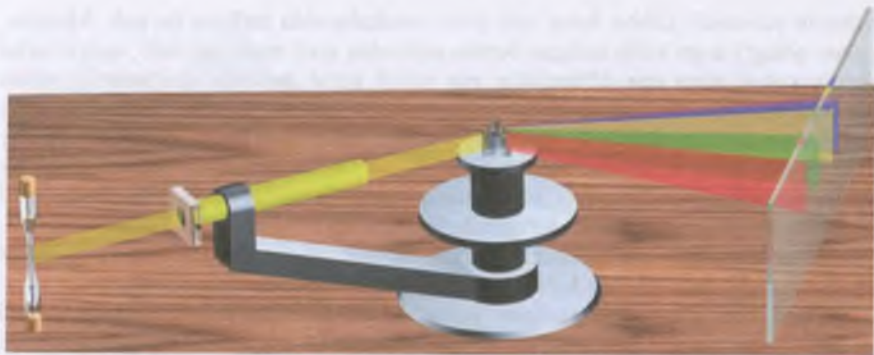
–Biror rangli jismga boshqa rangdagi shisha orqali qaralsa, u albatta qora rangda ko'rinadi. Masalan, ko'k rangli jismga yashil shishada qaralsa, u qora rangda ko'rinadi. Chunki, ko'k rangli jism sirtidan faqat bitta ko'k nur qaytadi. Yashil shisha esa yashildan boshqa barcha nurlarni yutish xususiyatiga ega bo'lgani uchun ko'k nurni ham yutib qoladi. Binobarin, barcha ranglar yutilgan joy qora rangda ko'rinish kerak. Agar jismga shu jism rangidagi shishada qaralsagina, jism o'z rangida ko'rinadi. Xuddi shuningdek, biror tasvirga aytaylik qizil shishada qarasak, tasvir qora va qizil ranglarda ko'rinadi. Faqat bitta rangdagi nurni o'tkazadigan maxsus shishalarga *yorug'lik filtrlari* deyiladi.



44.4-rasm

Ikki xil bo'yoqning qo'shilishidan shunday rang hosil bo'ladiki, bu rang ikkala bo'yoq qaytargan ranglarning aralashmasi bilan belgilanadi. Lekin ikki xil rangli nurlar qo'shilganda hosil bo'ladigan rang bo'yoqlar aralashmasi hosil qilgan rangdan farq qiladi. Yuqorida rasmda turli rangli monoxromatik nurlar aralashmasidan hosil bo'lgan ranglar tasvirlangan. Masalan, yashil va qizil nurlar qo'shib qora rangni, ko'k va sariq nurlar qo'shib yashil rangni, och yashil va qizg'ish nurlar qo'shib jigar rangni hosil qiladi.

Spektroskop:



44.5-rasm

Tabiyy yorug'lik nurlarini yoki biror lampa nurlayotgan yorug'likni tarkibiy qismlarga–spektrlarga ajratib beradigan qurilma spektroskop deb ataladi. Spektroskop yordamida juda tor sohadagi aniq chastotali monoxromatik dasta olish mumkin (44.5-rasm). Olish yulduzlardan kelayotgan nurlarning tarkibiy qismlarini o'rganib, o'sha yulduzlarning tarkibi qaysi elementlardan iborat ekanligi va tarkibi qandayligi, yoshi va hokozalarni spektroskop yordamida tadqiq etiladi. Bundan tashqari ayni bir ximiyaviy qanday chastotali nurlar hosil qilinishi ham spektroskop yordamida o'rganiladi.



1. Yorug'lik dispersiyasi deb nimaga aytiladi? Buni birinchi kim aniqlagan? Oq nur qanday spektral tarkiblarga ajraladi?
2. Uchburchakli shisha prizmada qaysi nur eng ko'p burchakka og'adi?
3. Shaffof muhitda qaysi nur eng katta tezlikda tarqaladi?
4. Yassi parallel plastinkaga tik holda tushgan oq yorug'likning qaysi spektr tarkibi plastinadan eng avval chiqadi? Qaysinisi eng oxiri chiqadi?
5. Oq yorug'likni qaysi qurilma bilan spektr tarkiblarga ajratiladi?



§ 45. YORUG'LIK INTERFERENSIYASI. INTERFERENSION MANZARANI HISOBLASH.

Mexanika bo'limida mexanik to'lqinlar bir-birlari bilan qo'shilib bir-birini kuchaytirish yoki susaytirishini (interferensiya hodisasi) ko'rgan edik. Yorug'lik to'lqinlari ham to'lqin bo'lgani uchun ularda ham bir-birlari bilan qo'shilib kuchaytirish yoki susaytirishlar bo'ladimi degan savol tug'iladi. Interferensiya natijasida suv yuzidagi to'lqinlarda mavjlanish va sokinlanish zonolari, tovush to'lqinlarida esa sershovqin va jimjitlik zonolari paydo bo'lgan edi. Yorug'lik to'lqinlarida ham interferensiya hodisasi sodir bo'lsa, ular o'zini qanday ko'rinishda namoyon etadi?

Kogerent to'lqinlar. Yorug'lik interferensiyasi. Yo'llar farqi.

Xuddi mexanik to'lqinlar kabi, yorug'lik to'lqinlari ham uchrashganda bir-birini kuchaytirishi yoki susaytirishi mumkin.

Chastotalari bir xil, faza farqlari o'zgarmas bo'lgan to'lqinlarning uchrashganda bir-biri kuchaytirishi yoki susaytirishiga interferensiya deyiladi.

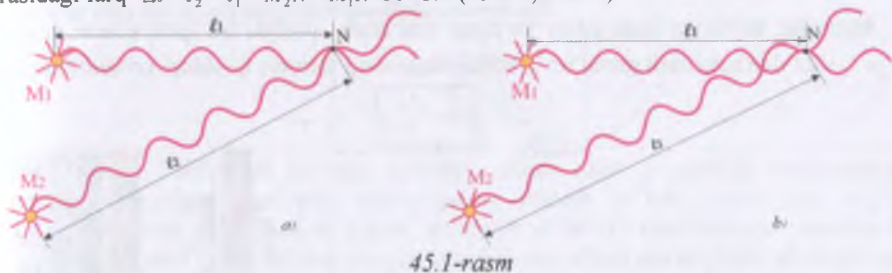
Bir xil chastotali va fazalar farqi o'zgarmas bo'lgan to'lqinlar o'zaro kogerent to'lqinlar deyiladi. Kogerent to'lqinlarni yuzaga keltiruvchi manbalar kogerent manbalar deyiladi.

Aslida ikkita manbadan chiqqan yorug'lik to'liqlari kogerent bo'la olmaydi. Shu sababdan bitta manbadan yorug'lik filtri orqali o'tgan monoxromatik numi sun'iy ravishda ikki yoki undan ko'p bo'lakka ajratib, so'ng yana ularni uchrastirish kerak.

Yorug'lik to'liqlari qo'shilib bir-birini kuchaytirganda maksimumlar sharti, susaytirganda esa minimumlar sharti bajarildi deyiladi. Aslida o'zaro kogerent bo'lmagan to'liqlar qo'shilganda ham biri-birini kuchaytirishi yoki susaytirishi mumkin. Lekin, bu to'liqlarning fazalar farqi tinimisiz o'zgarib turgani bois, kuchaygan yoki susaygan zonalar ham tinimsiz nuqtadan nuqtaga ko'chib turadi. Biror nuqtada har doim maksimum yoki har doim minimum sharti bajarilishi uchun bu to'liqlar tebranishlari orasidagi fazalar farqi hech qachon o'zgarmasligi kerak, ya'ni ular o'zaro kogerent bo'lishi kerak.

Biror nuqtada maksimum yoki minimum sharti bajarilishi bu nuqtaga etib kelgan yorug'lik to'liqlari bosib o'tgan yo'llar farqiga bog'liq.

Bir xil monoxromatik nurlar chiqaruvchi o'zaro kogerent manbalardan birinchisi M_1 , ikkinchisi M_2 bo'lib, bu to'liqlar uchrashgan nuqta N bo'lsin. Uchrashguncha har bir to'liqin bosib o'tgan yo'l $\ell_1 = M_1N$ va $\ell_2 = M_2N$, bu to'liqlar uchrashguncha o'tgan yo'llar orasidagi farq $\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 = M_2N - M_1N$ bo'lsin (45.1-a,b rasm).



45.1-rasm

Agar ikkinchi to'liqin birinchi to'liqindan yarim to'liqin uzunligining juft soni qadar (yoki butun sondagi to'liqin qadar) kechikib kelsa, bu to'liqlar bir xil fazada ($\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$) qo'shiladi, qo'shilish nuqtasida ular bir-birini kuchaytirib monoxromatik nur rangidagi yorug' polosa hosil bo'ladi bo'ladi. N nuqtada maksimum sharti bajariladi va u quyidagicha bo'ladi:

$$\delta = \ell_2 - \ell_1 = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

Agar ikkinchi to'liqin birinchi to'liqindan yarim to'liqin uzunligining toq soni qadar kechikib kelsa, bu to'liqlar qarama-qarshi fazada ($\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$) qo'shiladi, qo'shilish nuqtasida ular bir-birini susaytirib qorong'u polosa hosil bo'ladi. N nuqtada minimum sharti bajariladi va u quyidagicha bo'ladi:

$$\delta = \ell_2 - \ell_1 = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Yuqorida biz interferension manzara hosil bo'lish shartlari bilan umumiy holatda tanishdik. Endi tabiatda ko'p sodir bo'ladigan hodisalardan ba'zilarining sabablarini o'chishga harakat qilib ko'raylik.

Ikkita nuqtaviy manbadan hosil bo'lgan interferensiya:

Bir-biriga juda yaqin joylashgan va bir xil monoxromatik nurlar nurlovchi ikkita manbadan ham ekranda interferensiyalangan manzarani kuzatish mumkin.

Tasavvur qilaylik, ekrandan ℓ masofada, bir-biridan esa d masofada joylashgan ikkita M_1 va M_2 manbalar kogerent nurlar nurlasin. Ekranda ixtiyoriy D nuqta olaylik. Bu nuqta manbalardan ℓ_1 va ℓ_2 masofada, ekranning markaziy chizig'idan x masofada joylashgan bo'lsin. Shu manbalardan ekranda hosil bo'ladigan interferension manzarani hisoblab chiqaramiz (45.2-a, rasm). Bu erda ℓ_1 va ℓ_2 quyidagicha topiladi:

$$\begin{cases} \ell_2^2 = \ell^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 \\ \ell_1^2 = \ell^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 \end{cases}$$

Tenglamalar sistemasidagi birinchi formuladan ikkinchisini ayirish natijasida

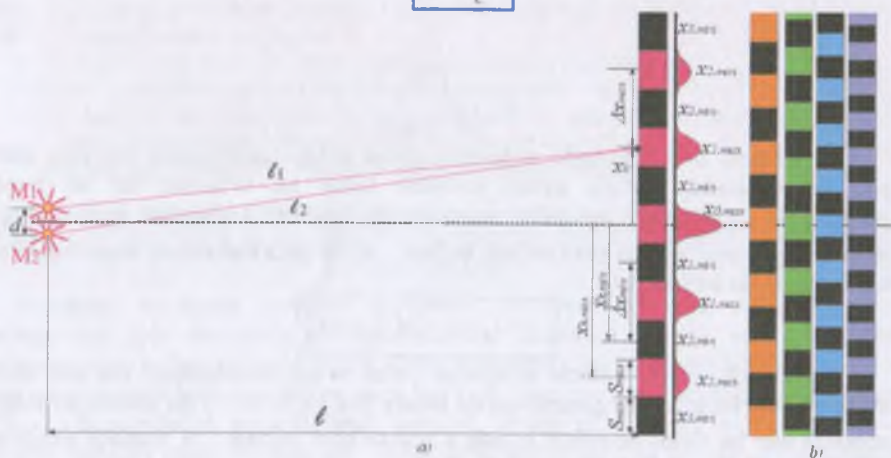
$$(\ell_2 - \ell_1)(\ell_2 + \ell_1) = 2dx$$

ifodaga ega bo'lamiz. Agar $\delta = \ell_2 - \ell_1$ ekanligini e'tiborga olsak, yo'llar farqi quyidagicha bo'ladi:

$$\delta = \ell_2 - \ell_1 = \frac{2dx}{\ell_1 + \ell_2}$$

Manbalar bir-biriga juda yaqin va ekran esa ancha uzoqda bo'lgani uchun ($\ell \gg d$), $\ell_1 + \ell_2 \approx 2\ell$ deb hisoblash mumkin. U holda yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\delta = \frac{dx}{\ell}$$



45.2-rasm

Agar ikkinchi to'liqin birinchi to'liqindan butun to'liqin uzunligi qadar kechikib kelsa, kogerent manbalardan yetib kelgan nurlar bir xil fazada tebranayotgan bo'ladi. Bu to'liqinlar qo'shilib biri-birini kuchaytiradi. Bunga **maksimumlar sharti bajarildi** deyiladi. Maksimumlar sharti bajarilgan zonada monoxromatik nurning rangiga bo'yalgan polosa hosil bo'ladi, masalan, manbalar qizil nur chiqarayotgan bo'lsa, qizil polosa hosil bo'ladi (45.2-a, rasm).

Agar ikkinchi to'liqin birinchi to'liqindan yarim to'liqin uzunligining toq soni marta kechikib kelsa, kogerent manbalardan yetib kelgan nurlar qarama-qarshi fazada tebranayotgan bo'ladi. Bu to'liqinlar qo'shilib biri-birini susaytiradi. Bunga **minimumlar**

sharti bajarildi deyiladi. Minimumlar sharti bajarilgan zonada har doim qorong'u polosa hosil bo'ladi (45.2-a, rasm).

Maksimum va minimumlar sharti quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} \delta_{\max} = k\lambda & - \text{max. sharti} \\ \delta_{\min} = \frac{2k-1}{2}\lambda & - \text{min. sharti} \end{cases}$$

Bu erda: yorug' xalqalar uchun $k=0,1,2,3,\dots$ va qorong'u xalqalar uchun esa $k=1,2,3,4,\dots$ deb olinadi.

Endi yuqoridagi formulalardan foydalanib, ixtiyoriy tartibli maksimum yoki minimum polosallarning geometrik o'rni qayerda ekanligini aniqlash mumkin. Buning uchun maksimum va minimum shartlaridan foydalanamiz.

$$\begin{cases} \delta_{\max} = k\lambda \\ \delta_{\min} = \frac{2k-1}{2}\lambda \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{dx}{\ell} = k\lambda \\ \frac{dx}{\ell} = \frac{2k-1}{2}\lambda \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x_{\max} = k\lambda \frac{\ell}{d} \\ x_{\min} = \frac{2k-1}{2}\lambda \frac{\ell}{d} \end{cases}$$

Demak, ekran markazidan ixtiyoriy k -tartibli maksimum va minimumgacha bo'lgan masofalar mos holda quyidagi formuladan topilar ekan:

$$\begin{cases} x_{\max} = k\lambda \frac{\ell}{d} \\ x_{\min} = \frac{2k-1}{2}\lambda \frac{\ell}{d} \end{cases}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, aynan biror k - tartibli interferension polosadan ekranning markaziy chizig'igacha masofa to'liq uzunligiga to'g'ri proporsional bo'lar ekan. Shuning uchun, aynan bir xil tartibli interferension polosa qizil nur uchun markaziy chiziqdan eng uzoqda, binafsha nur uchun esa markaziy chiziqqa eng yaqin joylashadi (45.2-b, rasm).

Ikkita qo'shni interferension polosalar orasidagi masofani aniqlaylik. Qo'shni maksimumlar orasidagi masofani topish uchun k -tartibli va $k-1$ - tartibli maksimumlar orasidagi masofani topamiz.

$$\Delta x_{\max} = x_{k\max} - x_{k-1\max} = k\lambda \frac{\ell}{d} - (k-1)\lambda \frac{\ell}{d} = k\lambda \frac{\ell}{d}$$

Qo'shni minimumlar orasidagi masofa ham xuddi shunday yo'l bilan topiladi.

$$\Delta x_{\min} = x_{k\min} - x_{k-1\min} = \frac{2k-1}{2}\lambda \frac{\ell}{d} - \frac{2(k-1)-1}{2}\lambda \frac{\ell}{d} = \frac{2k-1-2k+2+1}{2}\lambda \frac{\ell}{d} = \lambda \frac{\ell}{d}$$

Demak, qo'shni maksimumlar orasidagi masofa qo'shni minimumlar orasidagi masofaga teng, ya'ni $\Delta x_{\max} = \Delta x_{\min}$ bo'lar ekan.

Shunday qilib, ikkita qo'shni maksimumlar orasidagi masofa ikkita qo'shni minimumlar orasidagi masofaga teng va quyidagicha bo'lar ekan:

$$\Delta x_{\max} = \Delta x_{\min} = \frac{\lambda \ell}{d}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, qo'shni interferension polosalar orasidagi masofa to'liq uzunligiga to'g'ri proporsional bo'lar ekan. Shuning uchun ham bu kattalik qizil nurda eng katta, binafsha nurda esa eng kichik bo'ladi (45.2-b, rasm).

Maksimum polosaning eni minimum polosaning eniga teng va quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$S_{\text{max}} = S_{\text{min}} = \frac{\lambda \ell}{2d}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, interferension polosalar eni to'liq uzunligiga to'g'ri proporsional bo'lar ekan. Shuning uchun, bu kattalik qizil nurda eng katta, binafsha nurda esa eng kichik bo'ladi (45.2-b, rasm).

Ekranda hosil bo'ladigan maksimumlarning eng yuqori tartibi quyidagicha bo'ladi:

$$K = \frac{d}{\lambda}$$

Ekranda hosil bo'ladigan jami maksimumlar soni quyidagicha bo'ladi:

$$N = 2K + 1 = 2 \frac{d}{\lambda} + 1$$

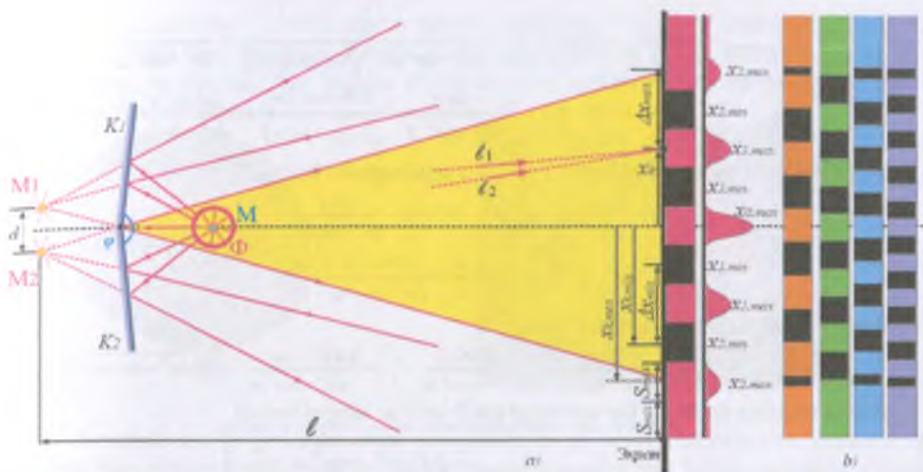
Formuladan ko'rinib turibdiki, jami maksimumlar soni manbalar orasidagi masofaga to'g'ri, to'liq uzunligiga teskari proporsional bo'lar ekan. Boshqacha aytganda, manbalar orasidagi masofa ortganda maksimumlar soni ortib polosalar ensizlashadi, to'liq uzunligi ortganda esa maksimumlar soni kamayib polosalar qalinlashadi.

Frael ko'zgularidagi interferensiya:

Frael ko'zgulari deb ataladigan ko'zgular sistemasi bir-biriga nisbatan $\varphi \approx 180^\circ$ dan kichikroq burchak ostida joylashgan ikkita K_1 va K_2 ko'zgulardan iborat optik sistemadir (45.3-rasm). Yorqin nur taratuvchi M manbadan chiqqan oq yorug'lik yo'lga kerakli numi, aytaylik qizil nurni o'tkazib yuboruvchi yorug'lik filtri Φ joylashtiriladi. Filtrdan o'tgan monoxromatik nurlar K_1 va K_2 ko'zgularga tushadi. Bu ko'zgularga tushgan nurlar sochiladi, lekin sochilgan nurlarning teskari davomlari ko'zgu orqasida M_1 va M_2 nuqtalarda kesishadi. Bu nuqtalar M manbaning K_1 va K_2 ko'zgulardagi tasvirlaridir. Xuddi monoxromatik yorug'lik nurlari M_1 va M_2 nuqtalardan chiqib ketayotgandek bo'lib ko'rinadi. Agar M_1 va M_2 nuqtalar orasidagi masofani d desak va bu masofa o'rtasidan markaziy chiziqni o'tkazsak hamda markaziy chiziq bo'yicha $\ell (\ell \gg d)$ masofada ekranni joy lashtirsa, xuddi ikkita nuqtaviy manbadan hosil bo'lgan interferension manzara hosil bo'ladi. Ikkita nuqtaviy manbadan hosil bo'lgan interferension manzara bilan esa yuqorida tanishgan edik. Bunda ham xuddi avval biz tanishganimiz kabi ekran markazida qizil polosa, so'ngra esa almashinuvchi qora va qizil polosalar keladi.

Agar qizil filtr o'miga navbatma-navbat qizg'ish, yashil, ko'k va binafsha filtrlar joylashtirilsa, navbatma-navbat almashinuvchi qizg'ish va qora, yashil va qora, ko'k va qora, binafsha va qora polosalardan iborat interferension manzaralar kuzatiladi. Faqat to'liq uzunligi kichrayib borayotgani bois, polosalar ham ensizlashib boradi.

Faqat shuni ta'kidlab o'tish kerakki, Frael ko'zgulari yordamida hosil bo'ladigan interferension manzara chegaralangan bo'ladi. Boshqacha aytganda, faqat ma'lum soha ichidagina interferension manzara kuzatiladi, tashqaridagi soha esa yorug'lik filtri rangiga bo'yalgan bo'ladi (45.3-rasm).



45.3-rasm

Frenel ko'zgularini biko'zgu deb ham ataladi. Undan tashqari bilinza, biprizma, manba va uning ko'zgdagi aksi yordamida ham bitta haqiqiy manbadan ikkita manba hosil qilish orqali interferensiyalashgan manbalarni kuzatish mumkin.

Yupqa plastinkalardagi interferensiya:

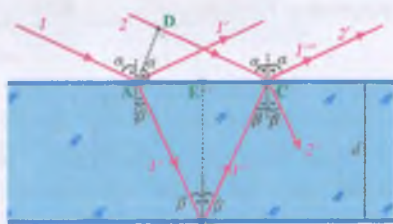
Suv sirtiga to'qilgan moyda yoki sovun pufagida har xil ranglarning tovlanishini yoshlik cho'g'imizdan har birimiz yaxshi bilamiz. Buning sababini birinchi bo'lib ingliz olimi Tomas Yung aniqladi. Buning sababini tushuntirishda u ushbu genial fikrni o'rtaga tashladi. Sovun pufagi yoki suv yuzidagi moy mikrometr tartibidagi biror d qalinlikdagi yupqa parda bo'lib, ushbu pardaning ichki va tashqi devorlaridan qaytgan nurlar qo'shilib interferensiyalashgan manzara hosil qildadi. U moy pardani d qalinlikdagi shaffof plastina deb oldi va shu plastina uchun interferensiyani o'rgandi.

Parallel nurlar dastasi yupqa plastina sirtiga biror α burchak ostida tushayotgan bo'lsin. Shu parallel dastadan ixtiyoriy 1 va 2 nurlarni tanlaymiz. Plastinada singan 1' nur plastina ichki devoridan 1'''nur bo'lib qaytadi va tashqariga 1'''' nur bo'lib chiqadi. Tashqariga chiqqan 1''''nur bu joyda 2 nurning plastina sirtidan qaytgan 2' nurini uchratadi va u bilan qo'shilib interferensiyalashadi.

1'''' va 2' nurlar interferensiyalashishi uchun bu nurlar yurgan geometrik yo'llar farqi emas, balki *optik yo'llar* farqi maksimumlar yoki minimumlar shartiga bo'ysunishi kerak.

Optik yo'l uzunligi – sindirish ko'rsatkichi n bo'lgan muhitda yorug'lik to'liqini biror masofani bosib o'tishi uchun ketgan vaqt davomida yorug'lik vakkumda qanday yo'lni bosib o'tishi mumkinligini ko'rsatuvchi kattalikdir.

Ikkala to'liqinning mos holda geometrik yo'llari quyidagicha bo'ladi:



45.4-rasm

$$\begin{cases} \ell_{1\text{ geomet}} = AB + BC = 2AB = 2 \frac{BE}{\cos \beta} = \frac{2d}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} = \frac{2d}{\sqrt{1 - (\sin \alpha / n)^2}} = \frac{2nd}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \\ \ell_{2\text{ optik}} = DC = 2AE = 2BE \cdot \operatorname{tg} \beta = 2d \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} = \frac{2d(\sin \alpha / n)}{\sqrt{1 - (\sin \alpha / n)^2}} = \frac{2d \sin^2 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \end{cases}$$

Ikkala to'liqinning mos holda optik yo'llari quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} \ell_{1\text{ optik}} = (AB + BC) \cdot n = \frac{2nd}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \\ \ell_{2\text{ optik}} = DC - \frac{\lambda}{2} = \frac{2d \sin^2 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} - \frac{\lambda}{2} \end{cases}$$

Optik yo'llar farqi quyidagicha bo'ladi:

$$\delta = \ell_{1\text{ optik}} - \ell_{2\text{ optik}} = \frac{2nd}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} - \left(\frac{2d \sin^2 \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} - \frac{\lambda}{2} \right) = \frac{2d(n^2 - \sin^2 \alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}$$

Ikkala nurning optik yo'llar ayirmasi optik yo'llar farqini beradi.

$$\delta = \ell_{1\text{ optik}} - \ell_{2\text{ optik}} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}$$

Agar optik yo'llar farqi yarim to'liqin uzunligining juft soni marta bo'lsa, yorug'lik nurlari C nuqtada bir xil fazada ($\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$) qo'shilib bir-birini kuchaytiradi. Bunda maksimumlar sharti bajarilgan bo'lib, sirt monoxromatik nur rangiga bo'yalgandek bo'lib ko'rinadi. Masalan, qizil nur bilan yoritilgan sirt xuddi qonga bo'yalgandek bo'ladi.

Agar optik yo'llar farqi yarim to'liqin uzunligining juft soni marta bo'lsa, yorug'lik nurlari C nuqtada qarma-qarshi fazada ($\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$) qo'shilib bir-birini susaytiradi. Bunda minimumlar sharti bajarilgan bo'lib, sirt qanday rangdagi nur bilan yoritilishidan qat'iy nazar qop-qora rangga bo'yalgandek bo'lib ko'rinadi.

Maksimumlar va minimumlar sharti quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} \delta = k\lambda & \text{yoki} & 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda & - \text{max.sharti} \\ \delta = \frac{2k+1}{2}\lambda & \text{yoki} & 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} = \frac{2k+1}{2}\lambda & - \text{min.sharti} \end{cases}$$

Bu yerda: $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ va n - plastinaning absolyut sindirish ko'rsatkichi.

Agar plastina sirti monoxromatik nurlar dastasi bilan tik holda ($\alpha = 0^\circ$) yoritilsa, yuqoridagi formula quyidagi soddaroq ko'rinishni oladi:

$$\begin{cases} \delta = k\lambda & \text{yoki} & 2dn + \frac{\lambda}{2} = k\lambda & - \text{max.sharti} \\ \delta = \frac{2k+1}{2}\lambda & \text{yoki} & 2dn + \frac{\lambda}{2} = \frac{2k+1}{2}\lambda & - \text{min.sharti} \end{cases}$$

Agar biror yupqa qalinlikdagi plastina oq yorug'lik bilan yoritilsa, qaysi to'liqin uzunlikdagi nur uchun maksimumlar sharti bajarilsa, plastina sirti o'sha nur rangiga bo'yalgandek ko'rinadi. Qolgan barcha to'liqin uzunlikdagi nurlar uchun minimumlar sharti bajariladi.

Agar plastinaning qalinligi hamma joyda bir xil bo'lsa, sirt yoki qora yoki yortilayotgan monoxromatik nur rangida ko'rinadi. Agar plastina qalinligi o'zgaruvchan bo'lsa, sirtning ba'zi joylari qora ba'zi joylari esa monoxromatik nur rangida ko'rinadi. Agar o'zgaruvchan qalinlikdagi plastina oq yorug'lik bilan yoritilsa, plastina sirtining turli

nuqtalarida turli to'liq uzunlikdagi nurlarning maksimumlar sharti bajariladi. Natijada, plastina sirtining turli nuqtalari turlicha rangga bo'yalgandek bo'lib ko'rinadi, ya'ni sirt rang-barang jilvlanadi. Suv yuziga to'kilgan moy qatlamida, sovun pufagida xuddi shunday holat kuzatiladi.



a)

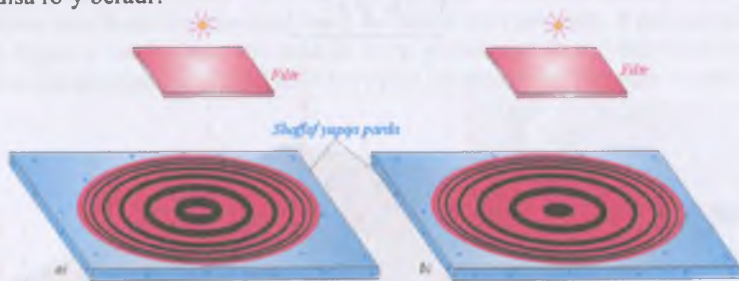


b)

45.5-rasm

45.5-rasmda sun'iy ravishda sovun pufagida hosil qilingan interferensiyalar manzara va bahorda yomg'irdan keyin hosil bo'lgan kamalak tasvirlangan. Sovun pufagida qatlam qalinligi turlicha bo'lgani uchun interferensiyalar manzara rang-barang. Kamalakda esa mayda yomg'ir tomchilariga kirishda va tomchidan chiqishda yorug'lik nuri ikki marta sinadi. Dispersiya hodisasi tufayli oq yorug'lik monoxromatik nurlarga ajraladi. Tomchining ichidan va tashqarisidan qaytgan nurlar qo'shib interferensiyalashishi natijasida kamalak hosil bo'ladi.

Biz hozirgacha hamma holatda sirtini parallel nurlar dastasi bilan yoritilganda hosil bo'ladigan interferensiyalar manzaralar bilan tanishdik. Agar monoxromatik nurlar manbai biror yupqa qalinlikdagi plastina ustiga uncha uzoq bo'lmagan masofaga o'rnatilsa, unda nima hodisa ro'y beradi?



45.6-rasm

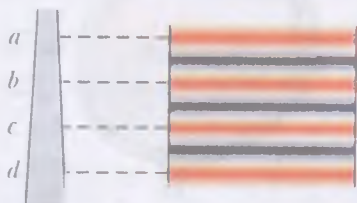
Bunday monoxromatik nurlar manbaini olish uchun cho'g'lanma lampani shishasi bitta to'liq o'tkazadigan yorug'lik filtri bo'lishi kifoya. Bunday manbadan kelayotgan nurlar plastinaning turli joylariga turlicha burchakda tushadi. Masalan, manba tagidagi eng yaqin nuqtaga tik holda ($\alpha = 0^\circ$) tushsa, manba tagidan uzoqlashgan sari tushish burchagi ham osha boradi. Natijada, goh minimum, goh maksimum sharti bajarilib, xuddi Nyuton xalqalari kabi almashinuvchi xalqlardan iborat interferensiyalar manzara kuzatiladi (45.6-rasm).

Kichik burchakli ponasimon pardadagi interferensiya:

Tabiiy sovun pufagining turli nuqtalarida parda qalinligi turlicha bo'lgani bois, rang-barang tusda tovlanishi bilan tanishdik. Agar parda qalinligi betartib o'zgarmasdan, bir tekis oshib boruvchi bo'lsa, bunday pardada qanday hodisa ro'y beradi?

Parda qalinligi bir tekis chiziqli oshib boruvchi bo'lsin. Pardaning eng qalin joyi o'lchami ham millimetrlarning ulushlariga teng bo'lgani uchun bu pardani **kichik burchakli ponasimon parda** deyish mumkin (45.7-rasm).

Uchidagi burchagi α , moddasining absolyut nur sindirish ko'rsatkichi n bo'lgan kichik burchakli ponasimon parda yoqlaridan biriga monoxromatik parallel nurlar dastasi perpendikulyar holatda tushayotgan bo'lsin. Bunda o'zgarmas qatlamli pardadan farqli ravishda pona qirrasiga parallel bo'lgan almashinuvchi qorong'u va yorug' polosalar

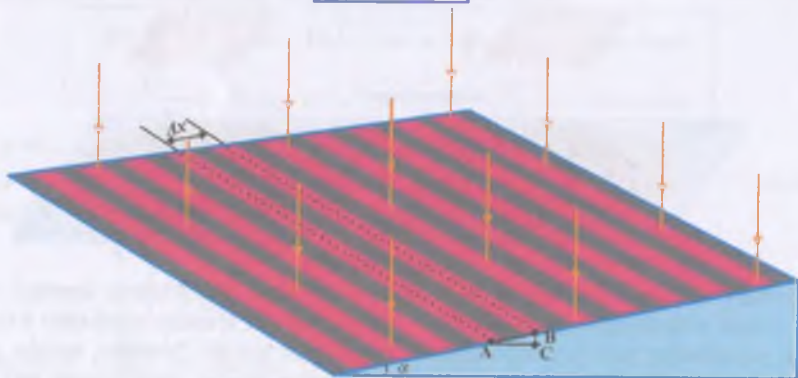


45.7-rasm

hosil bo'ladi. Pona qirrasidan uzoqlashgan sari parda qatlami qalinlashib boradi. Shuning uchun, pardaning ichki va tashqi sirtidan qaytgan nurlar orasidagi optik yo'llar orasidagi farq ham oshib boradi. Aytaylik, ponaning ixtiyoriy A nuqtasida maksimal interferensiyalar manzara kuzatilayotgan bo'lsin. U holda A nuqtadan biror Δx masofada ham shunday B nuqta borki, pona qalinligining ortishi tufayli yana maksimal interferensiyalar manzara hosil bo'ladi. Bunda optik yo'llar farqi A nuqtadagi yo'llar farqidan $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$ ga ortishi mumkin.

Boshqa tomondan esa $\lambda_n = 2BC = 2AB \cdot \tan \alpha = 2\Delta x \cdot \tan \alpha \approx 2\Delta x \cdot \alpha$ bo'ladi. Bu erda kichik burchaklarda $\tan \alpha \approx \alpha$ ekanligidan foydalandik. Shunda quyidagi ifodagi ega bo'lamiz (45.8-rasm).

$$2\Delta x \cdot \alpha = \frac{\lambda}{n}$$



45.8-rasm

Qo'shni maksimumlar orasidagi masofa qo'shni minimumlar orasidagi masofaga teng va quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2n\alpha}$$

Maksimum polosalarning eni minimum polosalarning eniga teng va quyidagicha bo'ladi:

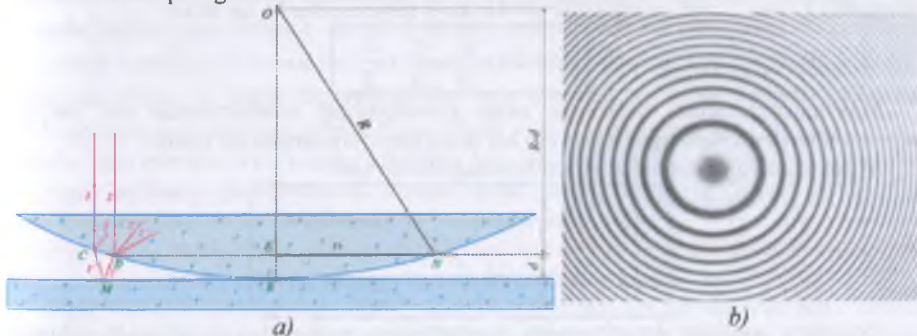
$$S = \frac{\Delta x}{2} = \frac{\lambda}{4n\alpha}$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, pona uchidagi burchak juda kichik bo'lsa, polosalar eni ko'zga ko'rinadigan darajada qalinlashar ekan. Masalan, sovun pufagi ($n=1,4$) burchagi $\alpha=1^\circ$ bo'lgan pona hosil qilayotgan bo'lsa, shu ponasimon pardani qizil nur ($\lambda=780\text{nm}$) bilan yoritilganda $S=0,021\text{mm}$ qalinlikdagi qora va qizil polosalar, binafsha ($\lambda=390\text{nm}$) nur bilan yoritilganda esa $S\approx 0,01\text{mm}$ qalinlikdagi qora va binafsha polosalar paydo bo'ladi. Bu o'lchamni esa ko'z deyarli umuman ilg'amaydi. Interferensiyon manzarani tomosha qilish uchun ko'rish burchagini oshiruvchi qo'shimcha optik asboblardan foydalanish kerak bo'ladi. Shuning uchun $\alpha=1^\circ$ va undan katta qiymatlarda polosalar bir-biriga juda yaqin kelgani sababli, ularni qurollanmagan ko'z bilan ajratishning imkoni bo'lmay qoladi. Aksincha, α burchakning gradusning o'ndan, yuzdan bir ulushlarida interferensiyon manzara juda yaqqol ko'rinadi. Natijada, qo'shni maksimumlar orasidagi masofa Δx ni o'lchash imkoni paydo bo'lgani sababli $\lambda=2n\Delta x\alpha$ formulaga asosan yoritilayotgan monoxromatik to'liq uzunligini topish mumkin. Agar burchak nolga juda yaqinlashib ketsa ($\alpha\rightarrow 0$), polosalar eni cheksiz kattalashib ketishi natijasida interferensiyon manzara butunlay yo'qoladi. Chunki, pona o'zgarmas qalinlikdagi plastinaga aylanadi. Sirt yoki faqat qorong'u yoki faqat yorug' bo'lib ko'rinadi.

Formuladan ko'rinib turibdiki, polosalar eni yoritilayotgan monoxromatik to'liq uzunligiga to'g'ri proporsional ekan. Bunga rasmdan ham ko'rib ishonch hosil qilish mumkin.

Nyuton xalqalari:

Kichik burchakli ponada eni bir xil bo'lgan navbatma-navbat almashinuvchi polosasimon interferensiyon manzara hosil bo'lishini ko'rgan edik. Yassi-qavariq linzani burchagi tinimsiz oshib boruvchi cheksiz ko'p ponalardan iborat deb tasavvur qilinsa, markazdan uzoqlashgan sari ensizlashib boruvchi interferensiyon manzara kuzatilish kerak.



45.9-rasm

Shisha plastina ustiga qo'yilgan egrilik radiusi etralicha katta bo'lgan yassi-qavariq linza orasida hosil bo'lgan havo qatlamida ham interferensiyon manzara paydo bo'ladi. Bu interferensiyon manzara konsentrik xalqalar shaklida bo'lib, ular Nyuton xalqalari deb ataladi. Linzaning egrilik radiusi qanchalik katta bo'lsa, interferensiyon manzara shuncha yaqqolroq ko'rinadi. Linzani qanday rangli monoxromatik nur bilan yoritishdan qat'iy nazar interferensiyon manzara markazi har doim qora rangda bo'ladi.

Yassi shisha plastinkaga radiusi $R=1-2\text{ m}$ bo'lgan yassi qavariq linza qo'yilgan bo'lsin (45.9-a,rasm). Rasmda bu sistema kesimi tasvirlangan. Linza bilan shisha plastinka oralig'ida havo qatlami bo'lib, linza va plastinka tutashgan nuqta B dan boshlab bu qatlam ortib boradi. Linzaning yassi tomoniga tik ravishda parallel monoxromatik nurlar tushayotgan bo'lsin. Shu nurlardan biri nur 1^{C} nuqtaga borgach qisman qaytadi, qisman havo qatlamiga o'tadi. O'tgan nur 1^{M} nuqtadan 1^{N} nur bo'lib qaytib, D nuqtadan 1^{N} bo'lib chiqadi. D nuqtaga 2-nur ham tushmoqda. 1^{N} va $2'$ nurlar o'zaro kogerent, ular ustma-ust tushib bir-biri bilan interferensiyalashadi. Natijada kogerentlik xalqalari kuzatiladi (45.9-b,rasm). Bu tajribani birinchi marta ingliz fizigi I.Nyuton kuzatgani uchun bu manzara *Nyuton xalqalari* deyiladi.

Linza markazi shisha plastinaga tegib turadi. Markazdan uzoqlashgan sari linza va plastina orasidagi bo'shliq havo qatlami qalinlashib boradi. Linza markazidan biror r_k masofada ixtiyoriy k -tartibli interferension xalqa hosil bo'lgan bo'lsin. Bu xalqa yassi shisha plastinadan biror d masofada bo'ladi. Ular orasidagi munosabat

$$R^2 = r_k^2 + (R-d)^2, \rightarrow R^2 = r_k^2 + R^2 - 2Rd + d^2, \rightarrow 2Rd = r_k^2 + d^2$$

bo'ladi.

Agar $r_k \gg d$ ekanligi e'tiborga olinsa, juda kichik d^2 hadni tashlab yuborib quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$d \approx \frac{r_k^2}{2R}$$

Nurlarning optik yo'llar ayirmasini topish uchun ular uchrashadigan D nuqtaga etib kelgunga qadar har bir nur bosib o'tgan optik yo'llar ayriladi, ya'ni

$$\delta = \ell_1 - \ell_2 = \left(CM + MD + \frac{\lambda}{2} \right) - 0 = 2d + \frac{\lambda}{2} = \frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$$

bo'ladi. Bu yerda $CM + MD = 2CM \approx 2d$ deb olindi.

Demak, 1^{N} nur M nuqtadan o'tganda qarama-qarshi fazaga o'tishini e'tiborga olinganda 1^{N} va $2'$ nurlarning optik yo'llar farqi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = \frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$$

Maksimumlar sharti bajarilgan xalqa yoritilayotgan monoxromatik nur rangida, minimumlar sharti bajarilgan xalqa esa har doim qop-qora rangda ko'rinadi.

Maksimum va minimumlar sharti quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} \delta = \frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda & \text{max. sharti} \\ \delta = \frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = \frac{2k+1}{2}\lambda & \text{min. sharti} \end{cases}$$

Qorong'u xalqalar interferension manzaraning markazidan boshlanadi. Shuning uchun, qorong'u xalqalar hisobi $k=0$ (bosh minimum)dan, yorug' xalqalar hisobi esa $k=1$ dan boshlanadi.

Ixtiyoriy qorong'u yoki yorug' polosaning radiusini aniqlash mumkin. Maksimumlar shartidan foydalanib, k -tartibli yorug' polosa radiusini aniqlaymiz.

$$\frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \rightarrow r_{k,\text{max}} = \sqrt{\frac{2k-1}{2}} \lambda R$$

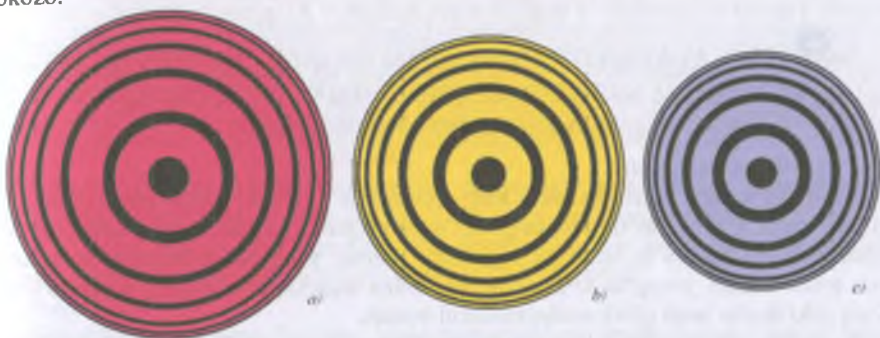
Minimumlar shartidan foydalanib, k -tartibli qorong'u polosa radiusini aniqlaymiz.

$$\frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = \frac{2k+1}{2} \lambda, \rightarrow \frac{r_k^2}{R} = k \lambda, \rightarrow r_{k \text{ min}} = \sqrt{k \lambda R}$$

Demak, k -tartibli yorug' va qorong'u xalqalar radiuslarini topish formulalari quyidagicha bo'lar ekan:

$$\begin{cases} r_{K \text{ MAX}} = \sqrt{\frac{2k-1}{2}} \lambda R & (k = 1, 2, 3, \dots) \\ r_{K \text{ MIN}} = \sqrt{k \lambda R} & (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, $r_k \sim \sqrt{k}$ bo'lgani bois, markazdan uzoqlashgan sari xalqalar ensizlashib va tig'ishlashib boradi. Masalan, bosh va 1-tartibli minimum orasidagi masofa $\Delta r = \sqrt{\lambda R}$ ga teng bo'lsa, 1-va 2-tartibli minimumlar orasidagi masofa $\Delta r = 0,414\sqrt{\lambda R}$ ga teng, 2-va 3-tartibli minimumlar orasidagi masofa $\Delta r = 0,318\sqrt{\lambda R}$ ga teng, 3-va 4-tartibli minimumlar orasidagi masofa esa $\Delta r = 0,268\sqrt{\lambda R}$ ga teng bo'ladi va hokozo.



45.10-rasm

Formuladan ko'rinib turibdiki, $r_k \sim \sqrt{\lambda}$ bo'lgani bois, to'liqin uzunlik ortgan sari xalqalar radiusi ham kattalaib boradi. Masalan, to'liqin uzunligi $\lambda = 780 \text{ nm}$ bo'lgan qizil va to'liqin uzunligi $\lambda = 390 \text{ nm}$ bo'lgan binafsha nurlardan hosil bo'lgan ixtiyoriy k -tartibli xalqa radiuslari $\sqrt{2}$ marta farq qiladi. Shu bois, binafsha nur bilan yortilganda boshqa nurlarga qaraganda xalqalar o'lchami eng kichik, xalqalar soni eng ko'p va xalqalari eng zich bo'lgan interferensiyon manzara hosil bo'ladi (45.10-rasm).

Agar tajribada monoxromatik nurdan emas, balki oq yorug'likdan foydalanilsa interferensiyon manzaralar rang-barang bo'yalgan bo'ladi.

Agar linza va plastinka orasiga shaffof muxit kiritilsa, interferensiyon xalqalar soni ortib, maksimumlar orasidagi masofa kamayadi, xalqalar kengligi ensizlashadi.

Agar shisha plastina ustiga sferik yassi-qavariq linza o'mniga silindrik yassi qavariq linza qo'yilsa, interferensiyon manzara xalqalar o'mniga polosalardan iborat bo'ladi. Ekran markazida yo'g'on qora polosa, so'ngra esa almashinuvchi va tig'ishlashib boruvchi yorug' va qorong'u chiziqsimon polosalar paydo bo'ladi.



1. O'zaro kogerent to'liqlar deb nimaga aytiladi? O'zaro kogerent to'liqin manbalari qanday bo'ladi?
2. Yorug'lik interferensiyasi deb nimaga aytiladi? Maksimumlar va minimumlar shartini yozing. Bu shartlar bajarilgan nuqtalarda nima hodisa kuzatiladi?

3. Ikkita o'zaro kogerent manbadan hosil bo'lgan interferension manzara uchun yo'llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini, ixtiyoriy maksimumgacha yoki minimumgacha bo'lgan masofani, qo'shni maksimumlar yoki qo'shni minimumlar orasidagi masofani, ixtiyoriy minimum yoki maksimum polosa enini hisoblaydigan formulalarni yozing.
4. Frenel ko'zgalarida interferension manzara hosil bo'lish sababini tushuntirib bering.
5. Yupqa moy pardasida hosil bo'ladigan interferension manzara uchun yo'llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini hisoblaydigan formulalarni yozing.
6. Kichik burchakli ponasimon pardada qo'shni maksimumlar yoki qo'shni minimumlar orasidagi masofa nimaga teng? To'lqin uzunligi-chi?
7. Yupqa moy pardasiga yorug'lik tik holda tushganda hosil bo'ladigan interferension manzara uchun yo'llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini hisoblaydigan formulalarni yozing.
8. Nyuton xalqalari uchun yo'llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini hamda ixtiyoriy tartibli maksimu va minimum polosa radiusini hisoblaydigan formulalarni yozing.



§ 46. YORUG'LIK DIFRAKSIYASI. FRENEL-GYUGENS PRINSIPI. DIFRAKSIYA NATIJASIDA HOSIL BO'LGAN INTERFERENSION MANZARALARNI HISOBLASH.

Yorug'lik difraktsiyasi:

Yorug'lik to'lqin ekan, demak u ham mexanik to'lqin kabi difraktsiya xrssasiga ega bo'lishi kerak. Chunki, to'siq yoki tirqishga duch kelganda geometrik soya sohaga aylanib o'tish hodisasi barcha to'lqinlarga tegishlidir. Biroq, yorug'lik difraktsiyasini kuzatish oson emas. Sababi, yorug'lik to'lqini uzunligi bilan taqqoslasa bo'ladigan darajada kichik to'siq yoki tirqish hosil qilish ancha mushkul masala.

Yorug'lik difraktsiyasini birinchi bo'lib Tomas Yung 1802-yilda o'zining klassik tajribasi orqali kuzatishga muvaffaq bo'lgan. U noshaffof pardani bir-biriga yaqin ikki nuqtasini igna bilan teshadi. Bu teshiklarga boshqa teshik orqali yorug'lik nuri tushirilganda ekranda navbatlashib keluvchi yorug' va qorong'u polosalar paydo bo'ldi. Gyugens prinyipiga ko'ra yorug'lik nurining har bir etib borgan fronti ikkilamchi yorug'lik manbasini hosil qiladi. Shuning uchun, ikkita tirqish ikkilamchi o'zaro kogerent manbaga aylanadi. Bu esa oldingi mavzuda tanishgan ikkita kogerent manbadan hosil bo'lgan interferensiyaning o'zidir. Yung xuddi ana shu tajriba orqali turli rangdagi yorug'lik spektrlarining to'lqin uzunliklarini juda anaiq o'lchadi.

Frenel-Gyugens prinsipi:

Yorug'lik difraktsiyasini tekshirish Ogyusten Frenel ishlari bilan tugallandi. Frenel difraktsiyaning turli hollarini tekshiribgina qolmasdan, balki yorug'lik nuri har qanday to'siqni (doiraviy to'siq, doiraviy tirqish, chiziqli to'siq, chiziqli tirqish va h.) aylanib o'tganda hosil bo'ladigan interferension manzarani miqdoriy hisoblab topishga imkon beradigan nazariyani yaratdi. Bundan tashqari Frenel birinchi bo'lib yorug'likning bir jinsli muhitda to'g'ri chiziqli bo'ylab tarqalishini isbotlab berdi.

Atoqli golland fizigi va matematigi, birinchi bo'lib to'liq nazariyasini yaratgan olim Xristian Gyugens 1629-yilda Gollandiyada dunyoga kelgan. To'liq nazariyasining asoslari uning "Traktat o' svete" nomli asarida 1690-yilda bayon etilgan. Gyugens birinchi bo'lib soatning bir me vorda yurishini ta'minlash uchun mayatnikdan foydalangan va matematik hamda fizik mayatniklarning tebranishlari davri formulasini keltirib chiqargan. Optika sohasida juda ko'plab ish olib borishidan tashqari matematika sohasida ham muvaffaqiyatlarga erishgan. Uning ishlari konus kesimlari, sikloida va boshqa egri chiziqlarni tekshirishga bag'ishlangan. Ehtimollik nazariyasiga oid dastlabki ishlaridan biri Gyugensning qalamiga mansubdir. Gyugens o'z qo'li bilan takomillashirgan astronomik truba yordamida Saturnning yo'ldoshi Titanni kash etgan. U 1695-yilda vafot etgan.



Xristian Gyugens
(1629–1695)

Yorug'lik difraksiyasi – yorug'likning to'siqlarni aylanib geometrik soya sohasiga o'tish xossasidir.

Difraksiya so'zi lotincha "difrakcio" "egilib o'tish" so'zidan olingan. Yorug'lik to'liqlari o'Ichamlari yorug'lik to'liqiniga yaqin bo'lgan to'siqlariga sezilarli darajada aylanib o'tadi.

Gyugens – Franel prinsipi: **To'liqin frontining xar bir etib bogan nuqtasi ikkilamchi to'liqin manbaidir. Ikkilamchi to'liqin manbalari kogerent manbalar va fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi tebranish – bu nuqtagacha etib kelgan ikkilamchi kogerent tulqinlar interferensiyasining natijasidir.**

Yorug'lik to'liqinining fazoning istalgan nuqtasidagi amplitudasini hisoblab topish uchun yorug'lik manbaini markaz qilib uni berk sferik sirt bilan fikran o'rash kerak. Ana shu sferik sirt nuqtalaridan tarqalgan ikkilamchi to'liqlar interferensiyasi qo'shilib fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi natijaviy amplitudasini belgilaydi.

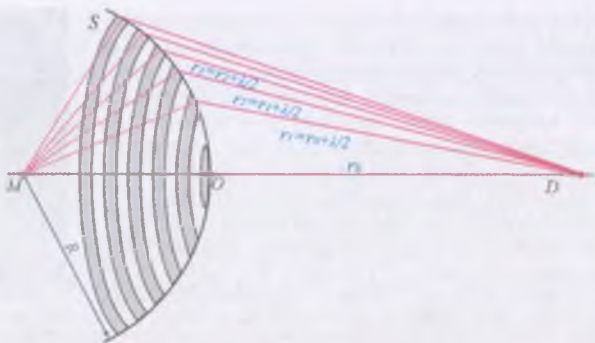
Franel zonalari:

Yorug'lik to'liqinining fazoning istalgan nuqtasidagi amplitudasini hisoblab topish uchun yorug'lik manbaini berk sirt bilan fikran o'rash kerak. Ana shu sirtga joylashgan ikkilamchi manbalardan chiqqan to'liqlar interferensiyasi fazoning tekshirilayotgan nuqtasidagi amplitudasini beradi. M manbadan muhitda ϑ tezlik bilan tarqalgan nur t vaqtda $R = \vartheta t$ sfera chizadi. Sfera sirti S ning barcha nuqtalaridan ixtiyoriy D nuqtaga yetib kelayotgan ikkilamchi kogerent to'liqlarning yig'indisini topish kerak. MD to'g'ri chiziqda yotuvchi O nuqta S sferaning D nuqtagacha bo'lgan eng yaqin nuqtasidir. OD ni r_0 deb belgilaylik. Markazlari D nuqtada joylashgan bir-biri bilan yarim to'liqin uzunligiga farq qiluvchi quyidagicha radiusli sferalar chizaylik (46.1-rasm).

$$r_1 = r_0 + \frac{\lambda}{2}, \quad r_2 = r_0 + 2\frac{\lambda}{2}, \quad r_3 = r_0 + 3\frac{\lambda}{2}, \quad r_4 = r_0 + 4\frac{\lambda}{2}, \quad \dots$$

Bu chizilgan sferalar sirdan maxsus sferik xalqalar (zonalar) ajratadi. Bu zonalar **Franel zonalari** deyiladi. Eng markaziy zona 1-zona va keyingilari 2,3,4-zonalar deyiladi. Franel zonalari teng yuzalarga ega. Shuning uchun bu yuzalarda teng miqdorda ikkilamchi kogerent manbalar bor.

1-zonadan D nuqtaga yetib kelayotgan natijaviy amplitudani A_1 bilan, shu tartibda 2,3,4-zonalardan D nuqtaga yetib kelayotgan natijaviy amplitudalarni $A_2, A_3, A_4, \dots$ bilan belgilaymiz.



46.1-rasm

Zonalar tartib raqami ortgan sari D nuqtagacha masofalar ham chiziqli ravishda ortib boradi, ya'ni $r_1 > r_2 > r_3 > r_4 > \dots$ bo'ladi.

Shuningdek, bu zonalarining D nuqtadan ko'rinish burchaklari ham orta boshlaydi. Shuning uchun, zonalaridagi barcha ikkilamchi kogerent to'lqin manbalaridan D nuqtaga etib kelayotgan yorug'lik to'lqinlarining natijaviy amplitudalari ($A_1, A_2, A_3, A_4, \dots$) monoton ravishda kamayib boruvchi sonlar ketma-ketligini tashkil qiladi.

$$A_1 > A_2 > A_3 > A_4 > A_5 > \dots$$

Ikkinchi tomondan qo'shni Frenel zonalarining chetki nuqtalaridan D nuqtagacha bo'lgan masofalar $\lambda/2$ ga farq qilib boradi. Shuning uchun qo'shni zonalar D nuqtada uyg'otadigan tebranishlarining fazalari π ga farq qiladi, ya'ni qarama-qarshi fazada tebranadi. D nuqtadagi umumiy amplituda ayrim zonalaridagi amplitudalar yig'indisiga teng. Toq zonalar amplitudalari (+) ishora bilan, juft zonalar amplitudalari (-) ishora bilan olinadi.

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + A_5 - \dots$$

yoki

$$A = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2} \right) + \dots + \left(\frac{A_{k-1}}{2} - A_k + \frac{A_{k+1}}{2} \right) + \dots$$

Agar $A_k = \frac{A_{k-1} + A_{k+1}}{2}$ ekanligini hisobga olsak, tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$A = \frac{A_1}{2}$$

Demak, barcha Frenel zonalarini tufayli D nuqtada uyg'otiladigan natijaviy tebranish xuddi 1-Frenel zonasining yarmidek bo'ladi.

46.1-rasmda M yorug'lik manbaidan chiqqan yorug'lik to'lqinining D nuqtaga barcha Frenel zonalaridan emas, balki biror qism Frenel zonalaridan kelayotgan bo'lsa, u holda D nuqtada natijaviy intensivlik qanday ko'rinishda bo'ladi. Buni doiraviy disk va doiraviy teshik misolida ko'rish mumkin.

Doiraviy teshikdan xosil bo'ladigan difraksiya (Frenel difraksiyasi):

Nuqtaviy monoxromatik yorug'lik manbai M dan tarqalayotgan yorug'lik nurlarining yo'liga doira shaklida teshigi bor T to'siq joylashtiraylik. Ekranni to'siqqa parallel joylashtirsak, M manbadan va doiraviy teshikning markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziqli ekranni D nuqtada kesadi. D nuqtani kuzatish nuqtasi sifatida tanlab, to'siqqa etib kelgan to'lqin frontidan Frenel zonalarini ajrataylik (46.2-rasm). To'siqdagi teshik zonalaridan k

tasini ochiq qoldirgan bo'lsin. D nuqtadagi natijaviy tebranish amplitudasi k ta zonalaridan kelgan tebranish amplitudalari yig'indisiga teng.

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + A_5 - \dots \pm A_k$$

Teshikdagi zonalar soni k toq va juft bo'lgan hollar uchun D nuqtadagi natijaviy amplituda quyidagicha:

$$\begin{cases} A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_k}{2}, & k = \text{toq songa} \\ A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_k}{2}, & k = \text{juft songa} \end{cases}$$

Agar zonalar soni kichik ($k=3-5$) bo'lsa, k ning toq (46.2-b, rasm) va juft (46.2-c, rasm) qiymatlarida natijaviy amplituda quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} A = A_1, & k = \text{toq songa} \\ A = 0, & k = \text{juft songa} \end{cases}$$

Agar tirqishdagi zonalar soni k ancha katta bo'lsa, u holda $A_k \ll A_1$ bo'ladi va k ning juft va toq qiymatlarida natijaviy amplituda quyidagicha bo'ladi:

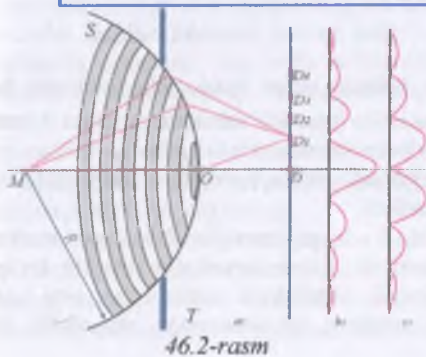
$$\begin{cases} A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_k}{2} \approx \frac{A_1}{2}, & k = \text{toq songa} \\ A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_k}{2} \approx \frac{A_1}{2}, & k = \text{juft songa} \end{cases}$$

Demak, yuqoridagi formula yorug'lik xuddi shaffofmas muhit bo'lgandek tarqalishini ifodalaydi.

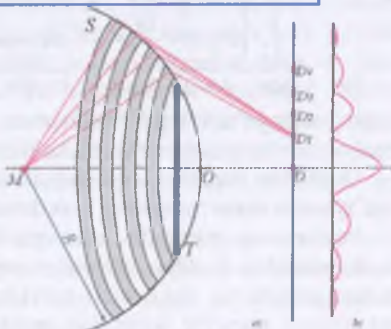
Doiraviy diskdan xosil bo'ladigan difraksiya (Frel difraksiyasi):

Nuqtaviy monoxromatik yorug'lik manbai M dan tarqalayotgan yorug'lik nurlarining yo'liga doiraviy disk shaklidagishaffofmas T to'siqni joylashtiraylik (46.3-a, rasm). E ekranni esa to'siqqa parallel qilib joylashtiraylik. M manba va doiraviy diskning markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziq ekranni D nuqtada kesadi. D nuqtani kuzatish nuqtasi sifatida tanlasak, to'siq S to'lqin frontidagi Frel zonalaridan k tasini berkitadi. Shuning uchun D nuqtadagi yorug'lik to'lqinining amplitudasi $k+1$ va undan katta nomerli Frel zonalaridan kelayotgan to'lqinlar amplitudalarining yig'indisiga teng bo'ladi.

$$A = A_{k+1} - A_{k+2} + A_{k+3} - \dots = \frac{A_{k+1}}{2} + \left(\frac{A_{k+1}}{2} - A_{k+2} + \frac{A_{k+3}}{2} \right) + \dots = \frac{A_{k+1}}{2}$$



46.2-rasm



46.3-rasm

k unchalik katta bo'lmaganda $A_{k+1} \approx A_k$ bo'ladi va shu sababdan D nuqtadagi yorug'lik intensivligi xuddi ekran va manba oraliq'ida hech qanday to'siq bo'lmagandek bo'ladi. Lekin, D nuqtadan biror masofada D_1 nuqtani kuzatish nuqtasi sifatida tanlasak, doiraviy disk $(k+1)$ -zonani qisman berkitadi k - zona esa qisman ochiladi. Natijada D_1 nuqtadagi yorug'lik intensivligi D nuqtadagidan zaifroq bo'ladi. D_1 nuqtadan ham uzoqroq D_2 nuqtani kuzatish nuqtasi sifatida tanlaganimizda esa to'siq Frelnel zonalarini yanada boshqacharoq berkitadi. Natijada ekranning D nuqtadan har xil uzoqlikdagi nuqtalarida yorug'lik intensivliklari 46.3-b, rasmdagidek bo'ladi. Difraksion manzara esa navbatlashuvchi yorug' va qora xalqalar ko'rinishida bo'lib, k ning toq qiymatlarida ham juft qiymatlarida ham D nuqta yorug' bo'ladi. Ekran D nuqtadan uzoqlashib geometrik soyadan chiqilganda difraksion manzara sezilmaydigan darajada xiralashgan bo'ladi. Buning sababi bu soxada difraksion manzaraning ustiga kuchli yorug'lik tushishidir.

Difraksion panjara:

Difraksion panjara deganda bir-biridan b uzoqlikda joylashgan bir xil a kenglikdagi tirqishlar to'plamidan iborat optik asbob tushuniladi

Qo'shni tirqishlarning mos nuqtalari orasidagi masofa difraksion *panjara domiysi* yoki *davri* deyiladi. Agar shaffof tirqishlarning kengliklari a bilan, shaffof mas oraliqning kengligi b bilan belgilansa, panjaraning davri quyidagicha: (46.4-rasm).

$$d = a + b$$

Tirqishlardagi ikkilamchi manbalar barcha yo'nalishlarda tarqaluvchi yorug'lik to'lqinlarini hosil qiladi. Tirqishdan ixtiyoriy φ burchak ostida sochiluvchi numi tekshiraylik. Qo'shni tirqishlarning chetlaridan chiqayotgan to'lqinlar orasidagi yo'l ayirmasi AC kesmaning uzunligiga teng va quyidagicha (46.4-rasm):

$$AC = AB \sin \varphi = d \sin \varphi$$

Difraksion panjara uchun maksimum va minimumlar sharti quyidagicha bo'ladi:

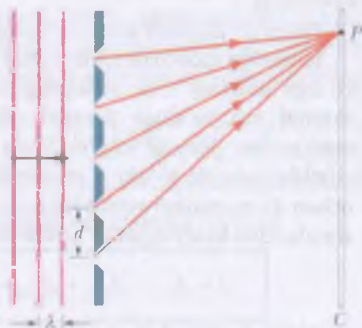
$$\begin{cases} d \sin \varphi = k\lambda & \text{-- maksimum} \\ d \sin \varphi = \frac{2k+1}{2} \lambda & \text{-- minimum} \end{cases}$$

Bu yerda: $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ bo'lib, $k = 0$ holatda ekran markazida markaziy bosh maksimum, ya'ni 0-tartibli maksimum, undan keyin 1-tartibli minimum, so'ngra 1-tartibli maksimum va hokozalar almashib keluvchi interferension manzara kuzatiladi.

Difraksion panjara xar qanday monoxromatik nur yoki oq yorug'lik bilan yoritilishidan qat'iy nazar ekran markazida maksimum kuzatiladi.

Panjara oq yorug'lik bilan yoritilganda $k = 0$ ga muvofiq keladigan markaziy maksimumdan boshqa maksimumlarning vaziyati to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lgani uchun panjara oq yorug'likni spektrlarga ajratadi. Qanchalik katta bo'lsa, ayni to'lqin uzunligiga muvofiq keladigan maksimum markaziy maksimumdan shunchalik uzoq turadi.

Difraksion panjarada kuzatili mumkin bo'lgan maksimum tartibi quyidagi



46.4-rasm

$$k = \frac{d}{\lambda}$$

ko'rinishda bo'ladi.

Panjaraning davri ortishi bilan interferensiyon xalqalar soni ortadi, maksimumlar orasidagi masofa kamayadi, xalqa kengligi ensizlashadi.



a)

b)

46.5-rasm

Yuqorida rasmda difraksiyon panjarada olingan tasvirlar keltirilgan. 46.5-a, rasmda difraksiyon panjaradan o'tgan nurlardan hosil bo'lgan interferensiyon manzara tasvirlangan. 46.5-b, rasmdagi kompakt disk tabiiy ravishda difraksiyon panjara vazifasini o'tab, undan qaytgan nurlardan hosil bo'lgan interferensiyon manzara ko'rinishi tasvirlangan.



1. Yorug'lik difraksiyasi nima? Bu hodisa qachon kuzatiladi?
2. Franel-Gyugens prinsipini aytib bering.
3. Franel zonalari nima?
4. Doiraviy diskdan hosil bo'ladigan franel difraksiyasini hisoblang.
5. Doiraviy tirgishdan hosil bo'ladigan franel difraksiyasini hisoblang.
6. Difraksiyon panjara nima, Uning davri nima?
7. Difraksiyon panjara uchun yo'llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini, maksimumlarning eng yuqori tartibini yozing.

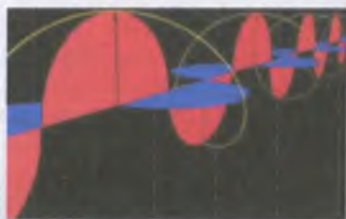
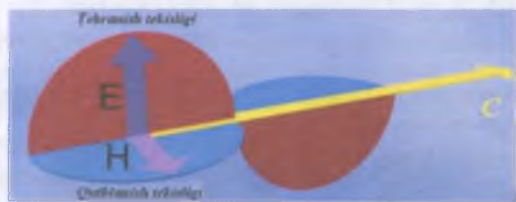


§ 47. YORUG'LIKNING QUTBLANISHI. QISMAN VA TO'LA QUTBLANGAN YORUG'LIK. BRYUSTER VA MALYUS QONUNLARI.

Tabiiy va qutblangan yorug'lik:

Yorug'lik nurlari to'lqin uzunliklari $\lambda = 400 - 800 \text{ nm}$ intervaldagi ko'ndalang elektromagnit tebranishlarining tarqalish yo'nalishidir. Quyosh yoki shamdan tarqalayotgan yorug'lik deganda shu manbaning atomlari (elementar nurlantirgichlar)dan chiqayotgan yorug'lik to'lqinlarining aralashmasi tushuniladi. Yorug'lik manbai o'lchami qanchalik kichik bo'lmasin, baribir unda "nurlantirgich"lar soni nihoyatda ko'p bo'ladi. Boshqacha aytganda, har onda milliardlab atomlar to'lqin nurlashni tugatsa, yana milliardlab atomlar to'lqin nurlashni boshlaydi. Bu elementar to'lqinchalar ichidan bittasini olib qaraylik (47.1-rasm). Bu to'lqin nur tarqalish yo'nalishiga va o'zaro perpendikulyar $\vec{E}$ va $\vec{B}$ vektorlarning tebranishlaridan iborat. Bunda $\vec{E}$ vektor tebranadigan tekislikni **tebranish tekisligi** va $\vec{B}$ vektor tebranadigan tekislikni esa **qutblanish tekisligi** deb ataladi.

To'lqin biror muhitga tushganda u muhitdagi elektronlar va ionlar bilan ta'sirlashadi. Hisoblashlarning ko'rsatishicha elektr ta'sir magnit ta'sirdan ancha katta bo'lar ekan. Shuning uchun, tasvimi yaqqollashtirish maqsadida elektromagnit to'lqinni faqat $\vec{E}$ vektorning tebranishlari sifatida tasvirlash odat tusiga kirgan.

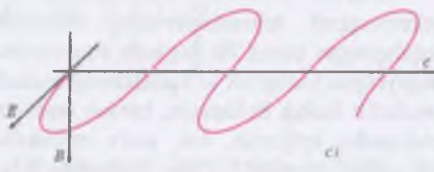


47.1-rasm

Kuchlanganlik (E) vektorlarining tebranishlari faqat bitta tekislikda sodir bo'ladigan yorug'lik to'lqinlari yassi qutblangan yorug'lik to'lqinlari deyiladi.

Tabiiy yorug'lik manbaining bitta atomidan bitta nurlanishda chiqqan yorug'lik to'lqini yassi qutblangan yorug'likka yaqqol misol bo'ladi.

Tebranish tekisligi chizma tekisligi bilan mos tushadigan yassi qutblangan yorug'likni yoki $\vec{E}$ vektorning tebranishi ko'rinishida yoki Ox o'qiga perpendikulyar o'tkazilgan chiziqchalar ko'rinishida tasvirlash mumkin (47.2-a, b rasm). Tebranish tekisligi chizma tekisligiga perpendikulyar bo'lgan yassi qutblangan yorug'likni esa yoki $\vec{E}$ vektorning tebranishi ko'rinishida yoki Ox o'qi yo'nalishidagi bir qator nuqtalar bilan tasvirlash mumkin (47.2-c, d rasm).



47.2-rasm

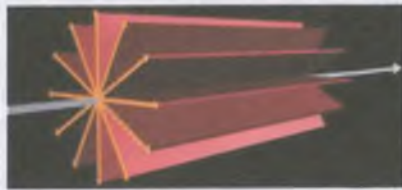
Yuqoridagi mulohazalar tabiiy yorug'lik manbaining bitta atomi bitta nurlanishda chiqaradigan to'lqin tizmasi uchun o'rinli. Nurlanish taxminan 10^{-9} s vaqt davom etadi. Bunda chiqarilgan to'lqin tizmasining uzunligi $3m$ chamasida bo'ladi. Shundan so'ng atom yangi to'lqin tizmasini nurlashga kirishadi. Lekin, keyingi tizimdagi tebranish

tekisligi va nur tarqalish yo'nalishi avvalgi tizimdagi tebranish tekisligi va nur tarqalish yo'nalishi bilan mos tushmaydi. Tabiiy yorug'lik manbaidagi turli atomlar nurlayotgan to'lqinlarning $\vec{E}$ vektorlari (ya'ni tebranish tekisliklari) turli yo'nalishga ega bo'lib, barcha yo'nalishlar teng ehtimollidir. Chunki, biror yo'nalishda tebranish yaxshiroq sodir bo'lib, qolgan yo'nalishlarda sustroq bo'ladi deb ayta olmaymiz. Boshqacha aytganda, birorta yo'nalishning boshqa yo'nalishdan ortiq, avzallik joyi yo'q, birorta bir yo'nalish imtiyozga ega emas. Yorug'lik manбайдan kuzatuvchiga tarqalayotgan tabiiy yorug'lik $\vec{E}$ vektorlari 47.3-a rasmdagidek bo'ladi. Bunday yorug'likni qutblanmagan yorug'lik deyiladi.

Tabiiy yorug'lik – barcha yo'nalishlarda yassi qutblangan yorug'liklar aralashmasidir.



b)



a)

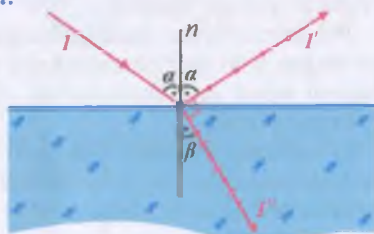
47.3-rasm

Agar yorug'lik tarkibida biror yo'nalishdagi tebranishlar boshqa yo'nalishdagi tebranishlarga qaraganda ko'proq bo'lsa, bunday yorug'lik qisman qutblangan yorug'lik deyiladi (47.3-b, rasm).

Qisman qutblangan yorug'lik – tabiiy va yassi qutblangan yorug'liklarning aralashmasidir.

Yorug'likning qaytishda va sinishda qutblanishi:

Tabiiy yorug'lik nuri vakuumdan dielektrik, shaffof muhitga tushayotgan bo'lsin. Bu nur qisman qaytadi (I') va qisman sinadi (I''). Tajribalar I' va I'' nurlar qisman qutblangan ekanligini ko'rsatadi. Lekin, I' va I'' nurlar o'zaro perpendikulyar bo'lganda qaytgan nur I' to'la qutblangan bo'lib, uning tebranishlari tushish tekisligiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda sodir bo'ladi (bu tebranishlar nuqtalar bilan tasvirlangan). Singan nur I'' esa qisman qutblangan bo'ladi (bu tebranishlar nuqtalar va kesmachalar bilan tasvirlangan).



47.4-rasm

Yorug'lik shaffof sirtga shunday burchak ostida tushsinki, natijada singan nur va qaytgan nurlar o'zaro perpendikulyar bo'lib qolsin. Bunday tushish burchagiga **Bryuster burchagi** deyiladi. Bryuster burchagini aniqlaylik. Singan va qaytgan nurlar o'zaro perpendikulyarligidan $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$ deyish mumkin. Bundan $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$ bo'ladi. Yorug'likning sinish qonunidan

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$$

hosil bo'ladi. Bundan tushish burchagi

$$\alpha = \alpha_{\text{Bry}} = \operatorname{arctg} n$$

kelib chiqadi.

Bryuster burchagi quyidagicha bo'ladi:

$$\alpha_{\text{Bryus}} = \arctg n$$

Masalan, $n = 1,53$ bo'lgan shisha uchun Bryuster burchagi 56^0 ga yaqin. Boshqacha aytganda, tabiiy yorug'lik nuri shisha sirtiga 56^0 burchak ostida tushsa, tushish tekisligiga perpendikulyar yo'nalishda qaytgan nur to'la qutblanadi, singan nur esa qisman qutblanadi. Buning sababini quyidagicha izohlaymiz:

Tushayotgan yorug'lik to'liqining elektr maydoni ta'sirida dielektrik tarkibidagi elektronlar tebranma harakatga keladi. Tebranuvchi elektronlar o'z navbatida ikkilamchi kogerent to'liqlarni nurlantiradi. Ikkilamchi to'liqlar birlamchi to'liqlar bilan o'zaro kogerentdir. Bu to'liqlarning o'zaro interferensiyalashishi natijasida qaytgan va singan nurlar yo'nalishidan tashqari barcha yo'nalishlarda tebranishlar so'nadi.

Singan nurning qisman qutblanishini quyidagicha tushuntiriladi:

Tabiiy nurda barcha yo'nalishdagi tebranishlar teng ehtimolli. Tushayotgan tabiiy nurning energiyasi qaytgan va singan nurlar orasida taqsimlanganligi uchun, energiyaning saqlanish qonuniga asosan, qaytgan nurda biror yo'nalishdagi tebranishlar ko'proq bo'lsa, singan nurda shu yo'nalishdagi tebranishlar kamroq bo'lishi kerak. Shuning uchun, qaytgan nur to'liq qutblanganda singan nur qisman qutblanadi.

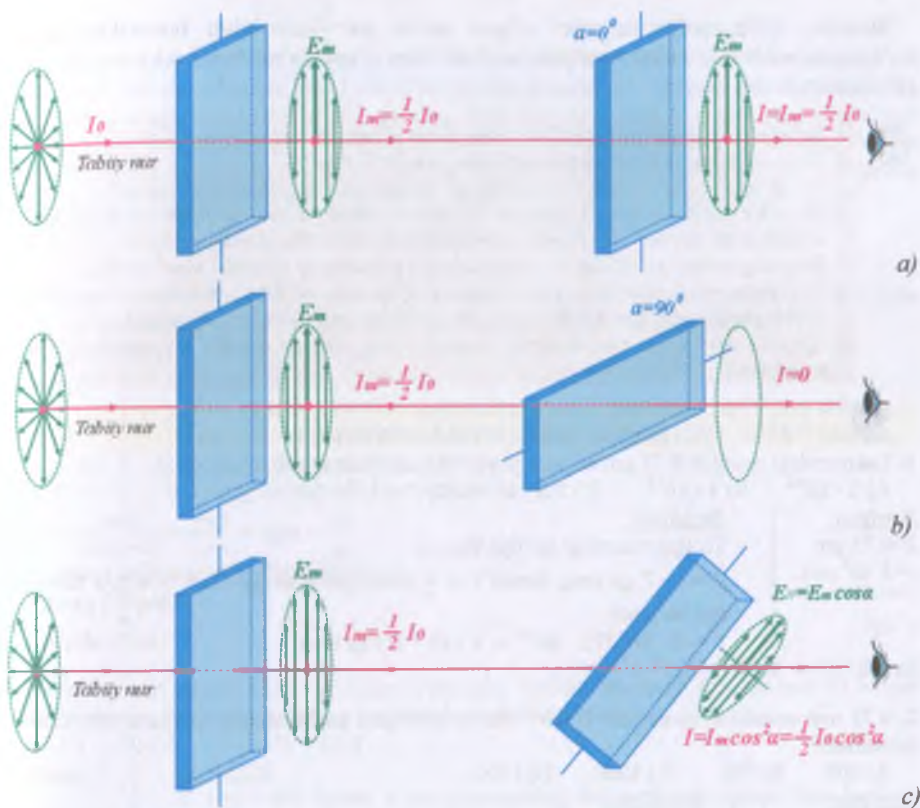
Turmalin bilan qilingan tajriba, Malyus qonuni:

Tabiiy yorug'likdan qutblangan yorug'lik olish uchun foydalaniladigan qurilma **polyarizatorlar** deyiladi. Polyarizatorlar yordamida olinadigan qutblangan yorug'lik to'liqining $\vec{E}$ vektori aniq bir tekislikda tebranadigan bo'ladi. Polyarizatorlar vazifasini turmalin kristali, yupqa sellyuloid plyonkasi, ispan shpati (CaCO_3) dan tayyorlangan prizmalar bajarishi mumkin.

Polyarizatorlardan faqat qutblangan yorug'lik olish maqsadida emas, balki nurning qutblangan yoki qutblanmaganligini aniqlash, qutblangan nurning tebranish tekisligini aniqlash uchun ham foydalaniladi. Shunday maqsadda ishlatiladigan polyarizatorlarga analizator deyiladi.

Polyarizator vazifasini o'tayotgan turmalin plastinkaga perpendikulyar ravishda tabiiy nur tushayotgan bo'lsin. Polyarizatoridan o'tgan nur yassi qutblangan, uning tebranishlari polyarizatorning optik o'qiga parallel yo'nalishda sodir bo'ladi. Bu yassi qutblangan nur yo'lga ikkinchi turmalin plastinka joylashtiraylik. U analizator (A) vazifasini bajaradi. Tajribalarning ko'rsatishicha (P) va (A) larning optik o'qlari parallel bo'lsa (47.5-a,rasm), (P) dan o'tgan yorug'likni (A) to'liq o'tkazadi, ya'ni $I = I_m$ bo'ladi. Ikkalal plastinka (P) va (A) o'zaro perpendikulyar bo'lsa, (A) dan yorug'lik tamoman o'tmaydi (47.5-b,rasm), ya'ni $I = 0$ bo'ladi. Oraliq vaziyatlarda esa, ya'ni $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ bo'lganda, (A) dan o'tayotgan yorug'lik $0 < I < I_m$ intervalda o'zgaradi (47.5-c,rasm).

Oxirgi holni batafsil qaraylik. (P)dan o'tgan yorug'lik to'liqini $\vec{E}$ vektorining amplituda qiymati E_m bo'ladi. $\vec{E}_m$ vektorini ikki tashkil etuvchiga shunday ajrataylikki, birinchi tashkil etuvchi $E_{//}$ (A)ning optik o'qiga parallel, ikkinchi tashkil etuvchi $E_{\perp}$ esa unga perpendikulyar bo'lsin. Analizator (A) o'zi orqali $E_{//} = E_m \cos \alpha$ bo'lgan to'liqinni o'tkazib, $E_{\perp} = E_m \sin \alpha$ to'liqinni esa butunlay yutadi.



47.5-rasm

Yorug'lik intensivligi $\bar{E}$ ning amplituda kvadratiga proporsional, ya'ni $I \sim E_m^2$ bo'lgani uchun (A) dan o'tgan yorug'lik to'liqini intensivligi quyidagicha:

$$I = I_m \cos^2 \alpha$$

Bu ifodaga Malyus qonuni deyiladi.

Malyus qonuni: Analizatoridan o'tgan yorug'lik intensivligi analizator va polarizatorlarning optik o'qlari orasidagi burchak kosinusining kvadratiga proporsionaldir.

Agar polarizatorga tushayotgan yorug'lik intensivligi I_0 bo'lsa, polarizator va analizatoridan o'tgan yorug'lik intensivliklari quyidagicha:

$$I_p = \frac{1}{2} I_0, \quad I_A = I_p \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha$$

Agar polarizatorga tushayotgan yorug'lik intensivligi I_0 bo'lsa, polarizator va analizatorida yutilgan yorug'lik nurlari quyidagicha:

$$\Delta I_p = \frac{1}{2} I_0, \quad \Delta I_A = I_p \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \sin^2 \alpha$$

Shunday qilib, polarizatoridan o'tgan tabiiy nur intensivligi burchakka brg'liq bo'lmagan holda ikki marta kamaysa, analizatoridan o'tganda esa burchakka bog'liq holda yana kamayar ekan.



1. Tebranish va qutblanish tekisliklarining nima ekanligini aytib bering.
2. To'la va qisman qutblangan yorug'liklarga ta'rif bering.
3. Yorug'lik ikki muhit chegarasida sinishda va qaytishda qutblangan bo'ladimi?
4. Bryuster burchagi nima? Qaytgan va singan nurlar o'zaro perpendikulyar bo'lganda nima hodisa ro'y beradi? Bunda ularning tebranish tekisligi qanday bo'ladi?
5. Malyus qonunini ta'riflang. Malyus qonunining matematik ifodasini yozib bering.
6. Polarizatoridan va analizatoridan o'tgan yorug'lik intensivliklari necha marta kamayadi?
7. Elektr yoy alangasi suv ichida yondirilsa, u ko'zga zarar qilmaydi. Nima uchun?
8. Quyosh nuri bilan yoritiladigan, derazasi berk bo'lgan xonada quyoshdan qorayish mumkinmi?



VIII BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Vakuumdagi uzunligi $0.75 \mu\text{m}$ bo'lgan yorug'likning chastotasini toping (Hz).

- A) $5 \cdot 10^{14}$ B) $4 \cdot 10^{14}$ C) $7,5 \cdot 10^{14}$ D) $5 \cdot 10^{15}$

Berilgan:

$$\lambda = 0,75 \mu\text{m}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$\nu = ?$

Yechilishi:

To'liq uzunligi tarifiga binoan

$$\lambda = c \cdot T \text{ ga teng, bunda } T = \frac{1}{\nu} \text{ ekanligini etiborga olsak } \nu = c/\lambda \text{ ifodaga}$$

$$\text{ega bo'lamiz.}$$

$$\nu = 3 \cdot 10^8 / 75 \cdot 10^{-8} = 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz ga teng}$$

Javob: B) $4 \cdot 10^{14}$

2. $0,75 \text{ mm}$ uzunlikda chastotasi $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ bo'lgan qizil nurlanishning nechta to'liq uzunligi joylashadi?

- A) 400 B) 750 C) 1000 D) 1500

Berilgan:

$$L = 0,75 \text{ mm}$$

$$\nu = 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$N = ?$

Yechilishi:

Bu oraliqda nechta to'liq joylashishini bilish uchun avvalurning to'liq uzunligini aniqlaymiz

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = x = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{14}} = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

L oraliqqa uzunligi λ ga teng to'liqdan N tasi joylashishi mumkin.

$$N = \frac{L}{\lambda} = \frac{0,75 \cdot 10^{-3}}{0,75} \cdot 10^{-6} = 1000 \text{ ta.}$$

Javob: C) 1000.

3. Agar olmosda chastotasi $2,73 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ bo'lgan Yorug'likning to'liq uzunligi 450 nm bo'lsa, yorug'likning olmosdagi tezligi qanday (m/s) bo'ladi?

- A) $1,23 \cdot 10^8$ B) $2,23 \cdot 10^8$ C) $2,5 \cdot 10^8$ D) $1,5 \cdot 10^8$

Berilgan:

$$\nu = 2,73 \cdot 10^{14} \text{ Hz;}$$

$$\lambda = 450 \text{ nm}$$

$\nu = ?$

Yechilishi:

Yorug'likning muhitdagi tezligi vakuumdagi tezligidan kichik ekanligi etiborga olsak. $\nu = \lambda \cdot \nu$ ifodaga ega bo'lamiz

$$\nu = 2,73 \cdot 10^{14} \cdot 45 \cdot 10^{-8} = 1,23 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Javob: A) $1,23 \cdot 10^8$.

4. Sindirish ko'rsatkichi n bo'lgan shaffof jismga vakuumdagi yorug'lik tushayapti. Agar yorug'likning vakuumdagi tezligi c bo'lsa, uning jism ichidagi tezligi qanday bo'ladi?

- A) $\frac{c}{n}$ B) nc C) c D) $\frac{n}{c}$

Yechilishi:

Maksvell nazariyasidan ma'lumki yorug'lik eng tez tarqaluvchi elektromagnit to'lqin bo'lib, uning vakuumdagi tezligi $c=3 \cdot 10^8$ m/s ga teng. Yorug'lik biror muhitda muhitning xossalriga bog'liq holda vakuumdagidan sekinroq tarqaladi. sindirish ko'rsatkichini tarifiga binoan muhitning sindirish ko'rsatkichi yorug'lik shu muhitda vakuumdagidan necha marta sekinroq tarqalishini ifodalaydigan kattalik. Yani tarifga binoan $n=\frac{c}{v}$ bundan $v=c/n$ ga teng.

Javob: A) $\frac{c}{n}$.

5. Havodan sindirish ko'rsatkichi $n = \sqrt{3}$ bo'lgan muhitga nur tushganda, qaytgan nur bilan singan nur orasidagi burchak 90° ga teng bo'ldi. Nurning tushish burchagi qanday?

- A) 0° B) 30° C) 45° D) 60°

Berilgan:

$$\begin{aligned} n_1 &= 1 \\ n_2 &= \sqrt{3} \\ \gamma + \varphi &= 90^\circ \\ \alpha &= ? \end{aligned}$$

Yechilishi:

Yorug'likning qaytish qonunidan tushish burchagi qaytish burchagiga teng ($\alpha_0 = \alpha$) ekanligini e'tiborga olsak $\alpha_0 + \beta + \gamma + \varphi = 180^\circ$ bundan berilgan shartga ko'ra $\alpha_0 + \beta = 90^\circ$
Yorug'likning sinish qonunidan

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1}$$

bu ifodadan tushish burchagini aniqlaymiz.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = 60^\circ$$

Javob: D) 60° .

6. Yorug'lik nuri suyuqlikdan vakuumga o'tmogda. Tushish burchagi 30° . qaytgan va singan nurlar bir-biriga tik. Bu suyuqlikning sindirish ko'rsatkichi qanday?

- A) 1,3 B) 1,5 C) 1,73 D) 2

Berilgan:

$$\begin{aligned} n_2 &= 1 \\ \varphi + \gamma &= 90^\circ \\ \alpha &= 30^\circ \\ n_1 &= ? \end{aligned}$$

Yechilishi:

$\gamma + \varphi = 90^\circ$ bunda γ qaytgan nurning ikki muhit chegarasi bilan hosil qilgan burchagi, φ -singan nurni ikki muhit chegarasi bilan hosil qilgan burchagi bo'lganligi uchun $\alpha + \beta = 90^\circ$ ifodaga ega bo'lamiz. Sinish qonunidan sinish burchagini hosil bo'lgan ifoda orqali ifodalasak

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1}$$

bu ifodadan birinchi muhitning nur sindirish ko'rsatkichi n_1 ni aniqlaymiz.

$$n_1 = \frac{n_2}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = \sqrt{3}$$

Javob: C) 1,73

7. Monoxromatik yorug'lik bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda, to'lqin uzunligi 2 marta kamaygan bo'lsa, uning tarqalish tezligi qanday o'zgaragan?

- A) 2 marta kamaygan B) $\sqrt{2}$ marta kamaygan
C) $\sqrt{2}$ marta oshgan D) 2 marta oshgan

Berilgan:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 2 \lambda_2 \\ v_2 / v_1 &= ? \end{aligned}$$

Yechilishi:

Yorug'likning moddalar bilan o'zaro tasiri qonuniyatlariga asosan yorug'lik bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda uning chastotasi o'zgarmay saqlangan xolda to'lqin uzunligi va tezligi o'zgaradi.

$v = \lambda \nu$ chastota o'zgarmaganligini e'tiborga olgan holda tezliklarining nisbati to'liqin uzunliklari nisbatiga teng ekanligi kelib chiqadi, yani $\frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{2}$. Demak ikkinchi muhitda to'liqin uzunligi 2 marta kamayganda uning tezligi ham 2 marta kamayadi.

Javob: A) 2 marta kamaygan.

8. Bir xil a amplitudaga ega bo'lgan ikkita kogerent to'liqinlar orasidagi yo'l farqi juft yarim to'liqin uzunligiga teng bo'lganda, ularning qo'shilishidan hosil bo'ladigan natijaviy tebranish amplitudasi qanday bo'ladi?

- A) 0 B) $\frac{a}{2}$ C) a D) $2a$ E) a^2

Berilgan:

$$A_1 = a;$$

$$A_2 = a;$$

$$A_n = ?$$

Yechish:

Interferensiyani maksimumlar shartiga ko'ra interferensiyalanuvchi to'liqinlarning yo'llar farqi ularning to'liqin uzunliklarining juft yarim to'liqin uzunligiga teng bo'lsa natijaviy to'liqin kuchyadi, yani $A_n = A_1 + A_2 = 2a$ ga teng.

Javob: D)

9. Ikkita kogerent tovush manbai bir xil fazada tebranadi. Birinchi manbadan 3 m va ikkinchi manbadan 4 m masofada joylashgan nuqtada tovush eshitilmaydi. Tovush tezligini 340 m/s bo'lsa, tovush chastotasi qanday (Hz)? ($n=0, 1, 2, \dots$)

- A) $(2n+1)340$ B) $340n$ C) $680n$ D) $(2n+1)170$ E) $340/n$

Berilgan:

$$x_1 = 3m$$

$$x_2 = 4m; V = 340m/s$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$v = ?$$

Yechish:

Interferensiyani minimumlik shartiga ko'ra

$$\Delta x = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} = (2n + 1) \frac{v}{2\nu}$$

bunda

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 1m \quad \text{va}$$

$$v = (2n + 1) \frac{v}{2\Delta x} = (2n + 1) 170 \text{ ga teng.}$$

Javob: D)

10. Bir millimetrida 200 ta shtrixi bo'lgan difraksion panjaraga to'liqin uzunligi 500 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik tushmoqda. Birinchi tartibli ikki spektr orasidagi burchakni toping.

- A) 34° B) 23° C) 11° D) 6° E) 3°

Berilgan:

$$x = 10^{-3}m;$$

$$N = 200 \text{ ta};$$

$$\lambda = 500nm;$$

$$k=4; \alpha=?$$

Yechish:

Difraksion panjara formulasi $d \sin \alpha = k\lambda$ dan foydalangan holda

$$d = \frac{x}{N} \text{ ekanligini etiborga olsa holda } \alpha = \arcsin \left(\frac{Nk\lambda}{x} \right) \approx 5,5^\circ \text{ ga teng.}$$

Endi ikkala 1-maksimum orasidagi burchak 2α ga teng ekanligini etiborga olsak $\beta = 2\alpha = 11^\circ$ ga teng.

Javob: C)

11. Davri $d = 10^{-3}mm$ bo'lgan difraksion panjarada kuzatilayotgan birinchi tartibli ikki simmetrik maksimumlar orasida burchak 60° bo'lsa, tushayotgan yorug'likning to'liqin uzunligi qanday (nm) bo'ladi?

- A) 400 B) 500 C) 600 D) 700 E) 870

Berilgan:

$$d = 10^{-6}m;$$

$$k=1;$$

$$\alpha = 60^\circ;$$

$$\lambda = ?$$

Yechish:

Difraksion panjara formulasi $d \sin \alpha = k\lambda$ dan foydalangan holda $d = \frac{x}{n}$

$$\text{ekanligini etiborga olsa holda } \lambda = \frac{d \sin \alpha}{k} = 500nm \text{ ga teng}$$



VIII BOBGA DOIR TESTLAR

1. Muhit sindirish ko'rsatkichinmg tushayotgan yorug'lik chastotasiga bog'liqligi ... deb ataladi.
A) interferensiya B) dispersiya C) qutblanish D) fotoeffekt E) difraksiya
2. Yorug'lik dispersiyasiga berilgan quyidagi ta'riflarning qaysilari mutlaq noto'g'ri:
1) muhitning sindirish ko'rsatkichi tushuvchi yorug'lik to'lqinlari uzunliklariga bog'liq bo'lishi
2) muhitning sindirish ko'rsatkichi yorug'likning muhitda tarqalish tezligiga bog'liq bo'lishi ...;
3) muhit sindirish ko'rsatkichining yorug'likning rangiga bog'liq bo'lishi ...;
4) muhit sinairish ko'rsatkichinmg yorug'lik chastotasiga bog'liq bo'lishi ...;
5) muhitning sindi rish ko'rsatkichi tushuvchi yorug'likning to'lqin uzunligi yoki chastotasiga bog liq bo'lishi ...
yorug'lik dispersiyasi deb ataladi?
A) 1, 5 B) 1, 5, 2 C) 3, 4 D) 2, 3 E) TJY
3. Qizil, yashil, binafsha nurlardan qaysi biri bir jinsli tiniq muhitda eng katta tezlik bilan tarqaladi?
A) hamma nurlarning tezliklari bir xil B) yashil C) qizil
D) binafsha E) qizil va binafsha
4. Shaffof muhitda tarqalayotgan ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik to'lqinlaridan qaysi birining tezligi eng katta bo ladi?
A) binafsha B) qizil C) ko'k D) yashil E) sariq
5. Spektning ko'zga ko'rinadigan qismidagi qaysi nurning chastotasi eng katta?
A) qizil B) yashil C) binafsha D) sariq E) ko'k
6. Yorug'likning rangi uning qaysi parametriga bog'liq?
A) to'lqin uzunligi va amplitudasi B) tezlik C) chastota D) amplitude E) TJY
7. Oq qog'ozga qizil harflar bilan matn yozilgan. Agar zangori shisha orqali qaralsa, harflar qanday rangli tuyuladi?
A) qizil B) yashil C) ko'k D) qora E) pushti
8. Qizil buyum zangori nur bilan yoritilsa, u qaysi rangda ko'rinadi?
A) yashil B) qora C) binafsha D) sariq E) ko'k
9. Sindirish ko'rsatkichi 1,5 ga teng bo'lgan muhitdagi elektromagnit to'lqinlarning tezligini aniqlang (m/s).
A) $2 \cdot 10^8$ B) $1,5 \cdot 10^7$ C) $1,5 \cdot 10^8$ D) $5 \cdot 10^7$ E) $6,7 \cdot 10^7$
10. Monoxromatik yorug'lik bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda, to'lqin uzunligi 2 marta kamaygan bo'lsa, uning tarqalish tezligi qanday o'zgargan?
A) 2 marta kamaygan. B) $\sqrt{2}$ marta kamaygan. C) $\sqrt{2}$ marta oshgan.
D) 2 marta oshgan. E) o'zgarmagan.
11. Agar bir jinsli muhitda tarqalayotgan elektromagnit to'lqin chastotasi 10^{15} Hz, to'lqin uzunligi 225nm bo'lsa, muhitning sindirish ko'rsatkichi qanday?
A) 1,33 B) 1,5 C) 1,7 D) 2 E) 2,5

12. Suvning sindirish ko'rsatkichi $n_1=1,33$, skipidarniki $n_2=1,49$. Shu moddalardan yorug'lik nuri bir xil vaqtda o'tadigan masofalar nisbati qanday?

- A) 1,22 B) 1,21 C) 1,20 D) 1,12 E) TJJY

13. Ko'rinuvchi yorug'lik to'liqining chastotasi $4 \cdot 10^{14}$ - $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz oraliqda yotadi. Shu to'liqlarning uzunligi qanday oraliqda yotadi (nm).

- A) 400-700 B) 450-700 C) 500-700 D) 400-750 E) 400-800

14. Monoxromatik yorug'lik uch muhitdan ketma-ket o'tganda uning shu muhitlardagi to'liqin uzunligi $\lambda_1=550\text{nm}$, $\lambda_2=550,1\text{ nm}$ va $\lambda_3=549,5\text{ nm}$ bo'ldi. Bu muhitlarning sindirish ko'rsatkichlari uchun quyidagi munosabatlardan qaysi biri o'rinni?

- A) $n_1 > n_2 > n_3$ B) $n_3 > n_1 > n_2$ C) $n_1 < n_2 < n_3$
D) $n_1 = n_2 = n_3$ E) $n_2 > n_3 > n_1$

15. Yorug'lik birinchi muhitdan ikkinchi muhitga α_1 burchak ostida tushadi. Sinish burchagi α_2 . Birinchi muhitda yorug'likning to'liqin uzunligi λ_1 bo'lsa, ikkinchi muhitdagi to'liqin uzunligi λ_2 qanday bo'ladi?

- A) $\lambda_2 = \lambda_1 \sin \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ B) $\lambda_2 = \lambda_1 \tan \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ C) $\lambda_2 = \lambda_1 \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}$
D) $\lambda_2 = \lambda_1 \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$ E) $\lambda_2 = \lambda_1 \frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1}$

16. To'liqlar interferensiyasi deb qanday hodisaga aytiladi?

- A) o'lchamlari to'liqin uzunligi tartibida bo'lgan to'siq yoki tirqishga tushgan to'liqlarning to'silgan sohaga og'ib tarqalish hodisasi.
B) to'liqlarning fazoning muayyan nuqtalarida natijaviy tebranishlar amplitudalarining vaqt o'tishi bilan o'zgaraydigan taqsimlanishini yuzaga keltirib qo'shilish hodisasi.
C) to'siqqa uchragan to'liqlarning to'siqdan biror burchak ostida orqaga qaytib tarqalish hodisasi
D) ikki to'liqinning qo'shilishi natijasida natijaviy tebranishlar amplitudasining keskin ortib yoki kamayib ketish hodisasi.
E) TJJY.

17. To'liqlar interferensiyasi qachon kuzatiladi?

- A) chastotalari va fazalar farqi har xil bo'lgan to'liqlar qo'shilganda.
B) chastotalari bir xil va fazalar farqi o'zgaruvchan bo'lgan to'liqlar qo'shilganda.
C) chastotalari har xil va fazalar farqi o'zgarmas bo'lgan to'liqlar qo'shilganda.
D) chastotalari va fazalar farqi o'zgarmas bo'lgan to'liqlar qo'shilganda.
E) chastotalari bir xil va fazalar farqi o'zgarmas bo'lgan to'liqlar qo'shilganda

18. Interferensiyalanuvchi ikki to'liqinning yo'llar farqi $\frac{\lambda}{2}$ bo'lganda to'liqlarning fazalar farqi qanday bo'ladi?

- A) $\frac{\pi}{2}$ B) $\frac{\pi}{3}$ C) $\frac{\pi}{4}$ D) $\frac{\pi}{6}$ E) π

19. Qanday to'liqlar kogerent to'liqlar deyiladi?

- A) bir xil chastotali B) bir xil amplitudali C) tebranishlari garmonik bo'lgan
D) to'liqin uzunliklari bir xil va fazalar farqi o'zgarmas E) to'liqin uzunliklari bir xil

20. Bir xil A amplitudaga ega bo'lgan ikkita kogerent to'liqlar orasidagi yo'l farqi toq yarim to'liqin uzunligiga teng bo'lganda, ularning qo'shilishidan hosil bo'ladigan natijaviy tebranish amplitudasi qanday bo'ladi?

- A) 0 B) $\frac{a}{2}$ C) a D) $2a$ E) a^2

21. Quyidagi javoblarning qaysi birida faqat fizik hodisalar sanab o'tilgan?

- A) yorug'lik interferensiyasi, elektromagnit to'lqinlar dispersiyasi, qutblanish.
 B) nurlanish oqimining zichligi, difraksiyasi, qutblanish.
 C) difraksiya, difraksion panjarat
 D) yig'uvchi linza, qutblanish, diffraksiya
 E) elektromagnit maydon, to'lqin yorug'likning qaytishi

22. Turmalin yoki boshqa qutblovchi kristallardan tabiiy nur o'tganda, uning intensivlik bo'yicha qanday maksimal qismi qutblangan nur bo'lib o'tadi?

- A) 0,75 B) 0,25 C) 0,5 D) 0,125 E) 0

23. Yorug'lik to'lqinining bo'ylama yoki ko'ndalang ekanligini qaysi hodisa yordamida aniqlash mumkin?

- A) dispersiya B) qutblanish C) interferensiya D) difraksiya E) TJY

24. Quyida sanalgan to'lqinlardan qaysilari ko'ndalang to'lqinlar turiga kiradi:

- 1) suv sirtidagi to'lqinlar; 2) gazdagi tovush to'lqinlari;
 3) yorug'lik to'lqinlari; 4) radioto'lqinlar;
 5) suyuqlikdagi ultratovush to'lqinlari
 A) 2, 4, 5 B) 1, 2, 3 C) 4, 5 D) 2, 3, 4 E) 1, 3, 4

25. Yorug'lik to'lqinlari tovush to'lqinlaridan nima bilan farq qiladi? To'g'ri javoblarni toping:

- 1) tovush to'lqinlari uzunroq
 2) yorug'lik to'lqinlari bo'ylama, tovush to'lqinlari ko'ndalang
 3) yorug'lik ham, tovush ham bo'ylama to'lqindir
 4) yorug'lik ko'ndalang, tovush bo'ylama to'lqindir
 5) yorug'lik interferensiyalanadi, tovush iterferensiyalanmaydi.
 A) 1 va 4 B) 4 va 5 C) faqat 1 D) faqat 4 E) 2 va 5

26. Difraksiya deb qanday hodisaga aytiladi?

A) o'lchamlari to'lqin uzunligi tartibida bo'lgan to'siq yoki tirqishga tushgan to'lqinlarning to'silgan sohaga og'ib tarqalish hodisasi.

B) to'lqinlarning fazoning muayyan nuqtalarida natijaviy tebranishlar amplitudalarining vaqt o'tishi bilan o'zgaraydigan taqsimlanishini yuzaga keltirib qo'shilish hodisasi.

C) to'siqqa uchragan to'lqinlarning to'siqdan biror burchak ostida orqaga qaytib tarqalish hodisasi.

D) ikki to'lqinning qo'shilishi natijasida natija viy tebranishlar amplitudasining keskin ortib yoki kamayib ketish hodisasi.

E) TJY

27. Yorug'lik to'lqinlarining tarqalishda to'g'ri chiziqdan ogishi va to'siqni aylanib, soya sohasiga o'tishi ... deb ataladi.

- A) interferensiya B) yorug'likning qutblanishi
 C) fotoeffekt D) dispersiya E) difraksiya

28. Yorug'lik qanday sharoitda to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishdan chetlashadi?

- A) bir iinsli bo'lmagan muhitda
 B) o'lchamlari yorug'lik to'lqin uzunligi bilan solishtirarli to'siqlarga uchraganda
 C) o'lchamlari yorug'lik to'lqin uzunligi bilan solishtirarli tirqish yoki teshiklardan o'tganda

- D) kuchli gravitasion maydonda
E) A-D javoblarning hammasi to'g'ri

29. Quyida keltirilgan nurlarning qaysilari diffraksiyalanish xossasiga ega: 1) ko'zga ko'rinadigan yorug'lik; 2) radioto'lqinlar; 3) rentgen nurlari; 4) infraqizil nurlar?

- A) 1,2 V) 1, 2, 3 C) 1, 2, 3, 4 D) 3, 4 E) 1, 3, 4

30. Uzunligi 800 nm bo'lgan ikki kogerent infraqizil yorug'lik to'lqini fazoning bir nuqtasiga 2 mkm optik yo'l farqi bilan kelib tushmoqda. Nurlar kelib tushayotgan nuqtada interferensiya hodisasi bo'ladimi yoki diffraksiyani? Shu hodisa tufayli to'lqin bu nuqtada kuchayadimi yoki susayadimi?

- A) interferensiya, susayadi B) diffraksiya, susayadi
C) interferensiya, kuchayadi D) diffraksiya, susayadi E) TJY

31. To'lqin uzunligi 500 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik to'lqini davri 2 mkm bo'lgan diffrakcion panjaraga tik tushmoqda. Ikkinchi tartibli diffrakcion maksimum qanday burchak ostida ko'rinadi?

- A) 90° B) 60° C) 45° D) 30° E) 20°

32. Doimiysi d bo'lgan diffrakcion panjaraga to'lqin uzunligi λ bo'lgan monoxromatik parallel nurlar dastasi tik tushmoqda. Birinchi bosh maksimum burchagi φ uchun qaysi shart bajarilishi kerak?

- A) $\sin \varphi = \frac{\lambda}{d}$ B) $\sin \varphi = \frac{d}{\lambda}$ C) $\cos \varphi = \frac{\lambda}{d}$ D) $\cos \varphi = \frac{d}{\lambda}$ E) $\cos \varphi = \lambda d$

33. Quyidagi ifodalardan qaysi biri diffrakcion maksimum shartidir? d - panjara doimiysi. Yorug'lik panjaraga tik tushmoqda.

- A) $d \sin \alpha = k\lambda$ B) $d \cos \alpha = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$ C) $d \cos \alpha = k\lambda$ D) $d \sin \alpha = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$ E) TJY



VIII BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Binafsha yorug'lik uchun suvning sindirish ko'rsatkichi 1,343. Bu yorug'lik to'lqinining suvda tarqalish tezligini toping (km/s).

2. Shaffof muhitdagi yorug'lik chastotasi $4 \cdot 10^{14}$ Hz, to'lqin uzunligi 500 nm bo'lsa, muhitning sindirish ko'rsatkichi qanday?

3. Elektromagnit tebranishlar chastotasi 10^{15} Hz bo'lsa, sindirish ko'rsatkichi 1,5 ga teng bo'lgan muhitda elektromagnit to'lqin uzunligi necha metr ga teng bo'ladi? Yorug'likning bo'shliqdagi tezligi $3 \cdot 10^8$ m/s.

4. Yorug'lik to'lqinining havodagi uzunligi 0,6 μ m. Uning suvdagi to'lqin uzunligi necha μ m bo'ladi? Suvning sindirish ko'rsatkichi $n=4/3$.

5. Tebranishlar chastotasi 3 Hz bo'lgan to'lqin 2,4 m/s tezlik bilan tarqalmoqda. Bir-biridan 20 cm masofada joylashgan nuqtalardagi tebranishlarning fazalar farqi ko'pi bilan qanday?

6. Koordinatalar boshida joylashgan tovush manbaidan to'lqin uzunligi 2 m bo'lgan tebranishlar tarqalmoqda. Koordinatalari $x_1 = 2$ m va $x_2 = 6$ m bo'lgan nuqtalarning tebranishlari orasidagi fazalar farqi qanday?

7. Chastotasi 680 Hz bo'lgan tovush to'lqini-ning ikki nuqtasidan manbagacha bo'lgan masofalar farqi 25 sm bo'lsa, bu nuqtalar tebranishlarining fazalar farqi qanday? Tovushning havodagi tezligi 340 m/s.

8. To'lqin uzunliklari λ ga teng bo'lgan ikkita interferensiyalanuvchi kogerent yorug'lik to'lqinlarining fazalar farqi $\frac{\pi}{4}$ ga teng. Optik yo'llar farqi qanday?
9. Fazoning biror-bir nuqtasiga to'lqin uzunligi 600 nm, optik yo'llar farai 1,2 mkm bo'lgan kogerent nurlar kelib tushmoqda. Bu nuqtada qanday hodisa kuzatiladi?
10. 1 mm da 1000 ta shtrixi bor difraksion panjaraning doimiysini (mkm) aniqlang.
11. Difraksion panjarada ikkita qo'shni tirqishlarning chetlaridan chiqayotgan to'lqinlar orasidagi yo'l farqi 2,5 mkm va difraksiya burchagi 30° bo'lsa, shu panjaraning doimiysi necha mkm ga teng?
12. Davri 0,001 mm bo'lgan difraksion panjara yordamida hosil qilingan birinchi tartibli spektrda yashil ($\lambda = 0,5 \text{ mkm}$) chiziq qanaday burchak ostida ko'rinadi?
13. Difraksiya panjarasiga tik tushayotgan oq yorug'lik difraksiyalanganida 3-tartibli spektrdagi $\lambda = 780 \text{ nm}$ to'lqin uzunlikli chiziq bilan 4-tartibli spektrdagi qanday to'lqin uzunlikli (nm) chiziq ustma-ust tushadi?
14. To'lqin uzunligi 600 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik to'lqini davri 3,6 mkm bo'lgan difraksion panjaraga tik tushmoqda. 30° burchak ostida ko'ringan difraksion maksimumning tartibini aniqlang.
15. Analizator o'ziga tushayotgan qutblangan yorug'lik intensivligini ikki marta susaytiradi. Polyarizator va analizator bosh o'qlari orasidagi burchak qanday?
16. Tabiiy yorug'lik nuri ketma-ket ravishda bosh tekisliklari orasidagi burchak 60° bo'lgan polyarizator va analizatoridan o'tadi. Analizatoridan boshlang'ich yorug'lik oqimining qanday qismi chiqadi?
17. Polyarizator va analizatorning bosh tekisliklari orasidagi burchak 45° . Bu burchakni 60° gacha orttirilganda analizatoridan chiqayotgan yorug'likning intensivligi necha marta kamayadi?



Yorug'likning kvant tabiati XIX asr oxiri XX asr boshlarida fanga ma'lum bo'ldi. O'sha paytgacha yorug'likning to'liq tabiati Yevropalik tadqiqotchi olimlar tomonidan juda yaxshi o'rganildi hamda ko'plab tabiatdagi optik hodisalar sabablari to'liq nazariyasi asosida tushuntirib berildi. Lekin, keyinchalik ba'zi o'tkazilgan tajriba natijalarini bu to'liq nazariya asosida tushuntirish samarasiz bo'ldi. Masalan, absolyut qora jismning nurlanishi, nurlanishdagi energiya taqsimoti, fotoeffekt, Komton effekti va boshqa hodisa sabablarini to'liq nazariya tushuntirib bera olmadi. Shunda Maks Plank tomonidan yorug'lik energiyasi porsiya-porsiya, ya'ni kvantlar ko'rinishida nurlanishi va bu nurlanish chastotaga to'g'ri proporsional ekanini ta'kidladi. Albert Eynshteyn esa yorug'lik nafaqat kvantlar tarzida nurlanadi, balki kvantlar tarzida tarqaladi va kvantlar tarzida yutiladi degan g'oyani o'rtaga tashladi. Demak, Plank va Eynshteyn fikriga ko'ra yorug'lik dastasidagi energiya uzluksiz bo'lmagan, balki bu energiya foton deb ataluvchi zarralardagina mujassam ekan.



§ 48. NURLANISHNING TURLARI. NURLANISH QONUNLARI

Nurlanishning turlari:

Yorug'lik-to'liq uzunligi taxminan $\lambda=400-770 \text{ nm}$ bo'lgan elektromagnit to'liqdir. Elektromagnit to'liqlar esa zaryadli zarrachalarning tezlanuvchan harakati vaqtida uchib chiqadi. Zaryadli zarracha esa moddani tashkil qilgan atomlar tarkibidagi elektronlardir. Royalning torida tovush bo'lmagani kabi, atomlarning ichida ham yorug'lik bo'lmaydi. Royal toriga zarb berilganda undan ovoz chiqqani kabi, atomlar ham uyg'otilganda ulardan yorug'lik chiqadi.

Atomni uyg'otish uchun unga biror miqdor energiya berish kerak. Uyg'ongan atom olgan energiyasini darhol elektromagnit to'liq tarzida nurlab yuboradi. Atom har doim nur chiqarishi uchun unga tashqaridan har doim energiya kelib turishi kerak. Atomni uyg'otish uchun kerak bo'lgan energiyaning olinish manbasiga qarab nurlanishning quyidagi turlarga bo'linadi:

Issiqlikdan nurlanish: Bu nurlanishning eng oddiy va eng ko'p tarqalgan turidir. Bunda atomlarni uyg'otish uchun kerak bo'lgan energiya atom va molekulalarning hamda erkin elektronlarning issiqlik harakatidan olinadi. Ya'ni, atom, molekula va erkin elektronlar o'zaro noelastik to'qnashganda kinetik energiyaning biror qismi atomni uyg'otishga sarf bo'ladi.

Quyoshning nurlanishi, cho'g'lanma lampaning nurlanishi, pechning issitishi va boshqalar issiqlik nurlanishiga misol bo'ladi.

Elektroluminessensiya: Bu nurlanishda atomlarni uyg'otish uchun kerak bo'lgan energiya tez uchar elektronlarning harakatidan olinadi. Tez uchayotgan elektronlar atomlar bilan noelastik to'qnashganda kinetik energiyaning biror qismi atomni uyg'otishga sarf bo'ladi. Uyg'ongan atomlar nur chiqara boshlaydi.

Gazdagi razryad, shimol yog'dusi bunga misol bo'la oladi. Elektroluminessensiyadan reklama yozuvlari hosil qilinadigan trubkalarda foydalaniladi.

Katodoluminessensiya: Qattiq jismlarning elektronlar bilan bombardimon qilinganda yorug'lanishi katodoluminessensiyadir. Televizorning elektron-nur trubkasining ekrani katodoluminessensiya tufayli yorug'lanadi.

Xemilyuminessensiya: Energiya ajralib chiqishi bilan ba'zi ximiyaviy reaksiyalarda ajralib chiqqan energiyaning biror qismi yorug'lik energiyasiga aylanadi. Ya'ni, atomni uyg'otish uchun kerak bo'lgan energiya ximiyaviy yo'l bilan hosil qilinaypti. Bu hodisa xemilyuminessensiya deyiladi.

Tunda yaltiraydigan tilla qo'ng'iz, dengiz tubida yashaydigan ba'zi baliqlar xemilyuminessensiya tufayli yorug'lik chiqaradi. Ularni ushlab olgan bilan qo'l kuymaydi. Chirib borayotgan yog'och ham ba'zan qorong'uda nur chiqaradi.

Fotolyuminessensiya: Jismning yorug'lik ta'sirida nur chiqarish hodisasi fotolyuminessensiya deyiladi. Yorug'lik modda atomlarini uyg'otadi. Natijada moddaning o'zi nur chiqara boshlaydi. Archa o'yinchoqlari yorug'lanuvchi bo'yoqlar bilan qoplanadi. Ularga nur yog'dirilgandan keyin nurlanadi. Fotolyuminessensiya vaqtida chiqadigan yorug'lik to'lqin uzunligi uyg'otuvchi yorug'lik to'lqin uzunligidan katta bo'ladi. Masalan, ichiga flyuoressein (organik bo'yoq) solingan idishga binafsha yorug'lik dastasi tushirilsa, bu suyuqlik yashil-sariq tusda yorug'lanadi.

Absolyut qora jism:

Nurlanish spektrlarining turli qismlari turlicha xususiyatlarga ega bo'lib, modda bilan ta'sirlashganda o'zini turlicha namoyon qiladi. Masalan, yorug'lik nuri ionosferadan bemaol o'tib ketadi, lekin radioto'lqin uchun bu qatlam ko'zgu vazifasini o'taydi. Natijada tarqatilgan radioto'lqinlar ionosferadan qaytib, ko'rinnmaydigan joyga uzatish imkonini beradi. Ozon qatlami boshqa nurlarni o'tkazib yuboradi, lekin ultrabinafsha nurlar uchun ko'zgu vazifasini o'taydi. Ba'zi to'lqin uzunlikli nurlarda ximiyaviy reaksiya, fotosintez hosil qilish xususiyatiga bo'lsa, ba'zi nurlar fotoeffektini yuzaga keltiradi.

Nurlanish oqimi (Φ) biror yassi parallel plastinka shaklidagi jism sirtiga tushayotgan bo'lsin. Bu oqim qisman qaytadi (Φ_{qayt}), qisman yutiladi (Φ_{yut}), qolgan qismi esa jismdan o'tadi ($\Phi_{o'tg}$) (48.1-rasm).

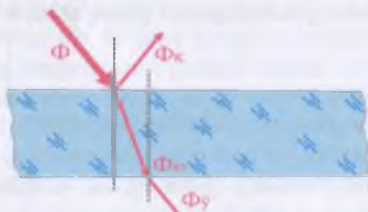
$$\Phi_{qayt} + \Phi_{yut} + \Phi_{o'tg} = \Phi$$

Bu tenglikning ikkala tomonini F ga bo'lamiz.

$\rho = \frac{\Phi_{qayt}}{\Phi}$ – jismning nur qaytarish qobiliyati;

$a = \frac{\Phi_{yut}}{\Phi}$ – jismning nur yutish qobiliyati;

$d = \frac{\Phi_{o'tg}}{\Phi}$ – jismning nur o'tkazish qobiliyati.



48.1-rasm

$$\rho + a + d = 1$$

Shaffof bo'lmagan jismlar uchun $d=0$ bo'ladi. U holda yuqoridagi ifoda quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\rho + a = 1$$

Bu ifoda har qanday to'lqin uzunlikdagi nur ($0 < \lambda < \infty$) uchun ham o'rinalidir. Tajribaning ko'rsatishicha, ρ va a ning qiymatlari jismning temperaturasiga va jisimga tushayotgan nurning to'lqin uzunligiga bog'liq ekan. Shuning uchun T temperaturali

jismning λ to'liqin uzunlikli nurni qaytarish qobiliyatini $\rho_{\lambda,T}$, shu nurni yutish qobiliyatini esa $a_{\lambda,T}$ bilan belgilasak, yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$\rho_{\lambda,T} + a_{\lambda,T} = 1$$

Umuman $\rho_{\lambda,T}$ va $a_{\lambda,T}$ 0 dan 1 gacha oraliqda o'zgarishi mumkin. Ikki chegaraviy holni ko'ramiz.

1) $\rho_{\lambda,T} = 1$ va $a_{\lambda,T} = 0$. Bunda jismga tushayotgan nur to'la qaytadi. Bunday jism **absolyut oq jism** deyiladi.

2) $\rho_{\lambda,T} = 0$ va $a_{\lambda,T} = 1$. Bunda jismga tushayotgan nur to'la yutiladi. Bunday jism **absolyut qora jism** deyiladi.

Tabiatda absolyut oq jism ham, absolyut qora jism ham yo'q. Har qanday jism unga tushayotgan nurning qandaydir qismini yutsa, qolgan qismini qaytaradi. Qaysi jism tushayotgan nurning ko'prog'ini yutsa, o'sha jism qoraroq hisoblanadi. Tabiatda eng qora jism – qora kuya uchun $\lambda = 400 - 770 \text{ nm}$ to'liqin uzunlikli nurlar uchun $a_{\lambda,T} = 0,99$ bo'ladi.



48.2-rasm

Absolyut qora jismni tushuntirish uchun o'zining xususiyatlari bilan absolyut qora jismdan kam farq qiladigan **model**dan foydalaniladi. Bunday jism juda kichik teshikka ega berk g'ovakdan iborat. Ixtiyoriy to'liqin uzunlikdagi nur teshikka kirib qolgach, uning ichki devorlaridan ko'p marta qaytgandan keyingina chiqib keta oladi. Devorning ichki sirtidan har safar qaytishda energiyaning biror qismi yutiladi. Natijada, nur energiyasining juda kichik qismigina teshikdan chiqib keta oladi. Shuning uchun ham bunday modelning nur yutish qobiliyati 1 ga juda yaqin, ya'ni $a_{\lambda,T} \approx 1$ bo'ladi.

Jismning nur qaytarish va nur yutish qobiliyatlaridan tashqari yana bir xarakteristika mavjudki, u T temperaturadagi jismning birlik sirtidan birlik vaqtda nurlanayotgan elektromagnit to'liqlarining energiyasini ifodalaydi. Bu kattalikni T temperaturadagi jismning **nur chiqarish qobiliyati** deb ataladi va r_T bilan belgilanadi.

$$r_T = \frac{W}{St} \left[\frac{Vl}{m^2} \right]$$

ρ va a lar o'lchamsiz kattaliklar, r_T esa Vl/m^2 larda o'lchanadi. r_T jismning to'la nur chiqarish, ya'ni $0 < \lambda < \infty$ intervaldagi nurlarni chiqarish qobiliyatidir. Bundan tashqari T temperaturadagi jismning λ uzunlikli nurni chiqarish qobiliyati $r_{\lambda,T}$ kattalik ham ishlatiladi.

$$r_{\lambda,T} = \frac{dr_T}{d\lambda} \left[\frac{Vl}{m^3} \right]$$

Absolyut qora jismning to'la nur chiqarish qobiliyati R_T va λ uzunlikli nurni chiqarish qobiliyati $R_{\lambda,T}$ bilan belgilanadi.

$$R_T = \frac{W}{St} \left[\frac{Vl}{m^2} \right]$$

va

$$R_{\lambda,T} = \frac{dR_T}{d\lambda} \left[\frac{Vl}{m^3} \right]$$

Kirxgoff qonunlari:

T temperaturadagi jism qobiq bilan o'ralgan bo'lsin (48.3-rasm). Qobiq issiqlik o'tkazmaydi va nurlanishni to'liq qaytaruvchi ideal jismdan tayyorlangan deb faraz qilaylik.

Qobiq ichidan havoni so'rib olaylik. Jism chiqargan nurlanish qobiqqa tushib undan bir yoki bir necha marta qaytgach, yana jismga tushadi. Jism esa bu nurni qisman yoki butunlay yutadi. Qisman yutsa, qolganini qaytaradi. Shu tarzda jism bilan qobiq ichi orasida nurlanish energiyasi almashinuvi davom etadi. Nurlagich ham nur yutgich ham jism bo'lgani uchun jism o'zining sirtidan birlik vaqt ichida chiqargan energiyasi, shu vaqt ichida yutilgan energiyaga teng bo'ladi. Shuning uchun, temperatura o'zgarmaydi va issiqlik balansi saqlanadi. Tajribalarning ko'rsatishicha bu muvozonat hohlagancha uzoq vaqt saqlanar ekan. Issiqlik nurlanishini **muvozonatli nurlanish** ham deyishadi. Boshqa biror tur nurlanishda issiqlik balansi uzoq vaqt saqlanmas ekan. Masalan, xemilyuminessensiyada nurlanish to'ximiaviy energiya tugaguncha sodir bo'ladi. yoki katodolyuminessensiyada tokni o'chirib qo'ysak, ekran yorishmay qoladi va h.

Agar 48.3-rasmda jism birlik vaqt ichida chiqarayotgan energiya shu vaqt ichida yutayotgan energiyadan ko'proq bo'lsa nima bo'ladi? Demak, ko'proq energiya chiqargani uchun jism sovib boradi. Sovigan sari nur chiqarish susayib boradi va ma'lum temperaturagacha sovigach birlik vaqt ichida chiqargan energiya shu vaqt ichida yutgan energiyaga tenglashadi. Ana shu temperaturada muvozonat qaror topadi va temperatura istalgancha uzoq vaqt o'zgarmasdan qoladi.



48.3-rasm



48.4-rasm

Endi qobiq ichida bir xil temperaturadagi, ya'ni termodinamik muvozonatdagi ikkita jism joylashgan bo'lsin (48.4-rasm). Agar jismlardan biri ko'proq energiya nurlantirib, kamroq energiya yutayotgan bo'lsa, bu jismning temperaturasi pasayib ketishi lozim. Buning evaziga 2-jismning temperaturasi oshish kerak. Natijada, sovuqroq jismdan issiqroq jismga issiqlik uzatish jarayonini amalga oshirgan bo'lamiz. Lekin, hech qachon bunday bo'lmaydi. Bu termodinamikaning 2-bosh qonuniga ziddir. Demak, termodinamik muvozonat holatidagi jismlar sistemasiga oid har bir jism qancha energiya yutsa, shuncha energiya nurlaydi. Ko'proq energiya yutadigan jism ko'proq energiya nurlaydi.

48.4-rasmda ko'rsatilgan jismlardan biri oddiy, 2-si absalyut qora bo'lsin. U holda 1-jismning to'la nur chiqarish qobiliyati r_T va to'la nur yutish qobiliyati a_T bo'ladi. 2-jismning to'la nur chiqarish qobiliyati R_T va to'la nur yutish qobiliyati 1 ga teng bo'ladi.

1-jism 2-jism nurlagan R_T energiyani a_T qismini, ya'ni $a_T \cdot R_T$ energiyani yutadi. Demak, 1-jism uchun energiyalar balansi quyidagicha bo'ladi:

$$r_T = a_T \cdot R_T$$

2-jism esa 1-jism nurlantirgan energiyani hammasini, ya'ni r_T energiyani yutadi. Bundan tashqari 2-jism nurlantirgan R_T energiyani 1-jism qaytargan qismi, ya'ni

$(1 - a_T) R_T$ ga teng energiyani ham 2-jism tomonidan yutiladi. 2-jism uchun energiya balansi quyidagicha bo'ladi:

$$R_T = r_T + (1 - a_T) \cdot R_T$$

Yuqoridagi ikkita balans tenglamalardan quyidagi munosabatni olamiz.

$$\frac{r_T}{a_T} = \frac{R_T}{1} = R_T$$

Bu ifoda Kirxgofning integral qonunidir:

Har qanday jismning muayyan temperaturada to'la nur chiqarish va to'la nur yutish qobiliyatlarining nisbati o'zgarmas kattalik bo'lib, u ayni temperaturadagi absolyut qora jismning to'la nur chiqarish qobiliyatiga teng bo'ladi.

Agar 48.4-rasmdagi ikki jism oralig'iga faqat to'liq uzunligi $[\lambda; \lambda + d\lambda]$ intervaldagi nurlanishlarni o'tkazadigan va boshqa nurlanishlarni batamom qaytaradigan filtr qo'ysak, yuqoridagi mulohozalarga o'xshash Kirxgofning differensial qonuni kelib chiqadi.

$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = R_{\lambda,T}$$

Kirxgofning differensial qonuni:

Itiyoriy jismning nur chiqarish va yutish qobiliyatlarining nisbati bu jismning tabiatiga bog'liq bo'lmay, bu nisbat barcha jismlar uchun to'liq uzunlik va temperaturaning universal funksiyasidir va bu nisbat absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati $R_{\lambda,T}$ ga tengdir.

Kirxgofning integral va differensial qonunidan quyidagi asosiy natijalar kelib chiqadi:

$$1) \quad r_T = a_T \cdot R_T, \quad r_{\lambda,T} = a_{\lambda,T} \cdot R_{\lambda,T}$$

Ixtiyoriy jismning muayyan temperaturadagi nur chiqarish qobiliyati shu jismning nur yutish qobiliyati bilan absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining ko'paytmasiga teng.

2) Oddiy jismning nur yutish qobiliyati 1 dan kichik, ya'ni $a_{\lambda,T} < 1$. Shuning uchun, ixtiyoriy jismning nur chiqarish qobiliyati xuddi shu temperaturadagi absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyatidan kichik.

$$r_T < R_T, \quad r_{\lambda,T} < R_{\lambda,T}$$

3) Agar biror λ to'liq uchun jismning nur yutish qobiliyati $a_{\lambda,T} = 0$ bo'lsa, u holda $r_{\lambda,T} = a_{\lambda,T} \cdot R_{\lambda,T} = 0$ bo'ladi. Demak, jism biror to'liq uzunlikdagi nurni yutmasa, u holda xuddi shu nurlanishni nurlamaydi ham.

Absolyut qora jism uchun nurlanish qonunlari:

Issiqlik nurlanish nazariyasining eng asosiy vazifasi absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining temperatura va to'liq uzunlikka bog'liqlik xarakterini aniqlab berishdan iborat. Bu borada kashf qilingan asosiy qonunlar bilan tanishaylik.

1-qonun. Stefan-Bolsman qonuni.

Absolyut qora jismning to'la nur chiqarish qobiliyati temperaturaning to'rtinchi darajasiga bog'liq ravishda ortadi.

$$R_T = \sigma \cdot T^4 \left[\frac{V_T}{m^3} \right]$$

Bu yerda: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{Vt}}{\text{m}^2} \right]$ – Stefan-Bolsman doimiysi bo'lib, tajribalar asosida topilgan.

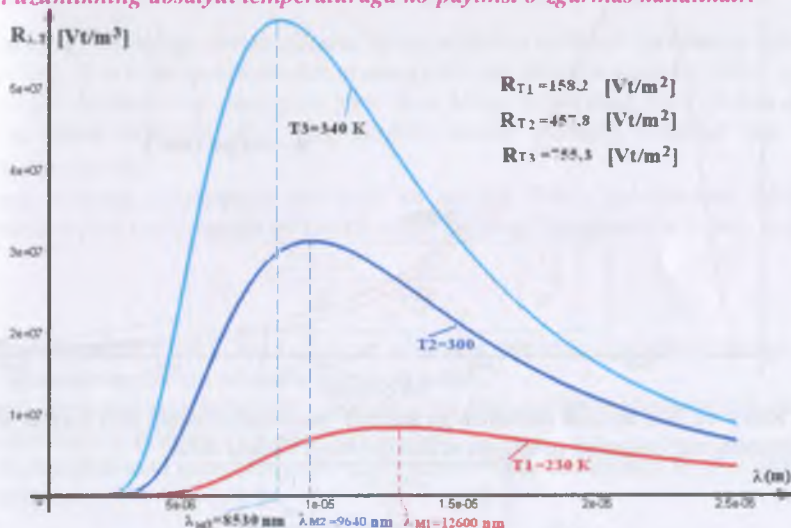
Stefan va Bolsmanlar absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining λ ga bog'liqlik grafigini turli temperatura ($T_1 < T_2 < T_3$) lar uchun tajriba yo'li bilan aniqladilar (48.5-rasm).

Bu tajribadan quyidagi 2ta xulosa kelib chiqadi:

1. Absolyut qora jismning nurlanishi uzluksizdir;
2. Har bir temperaturaga oid bo'lgan nurlanishning energetik taqsimotini ifodalovchi egri chiziqda aniq bitta maksimum mavjud bo'lib, u temperatura oshgan sari qisqa to'liqlikni sohaga siljiydi.

2-qonun. Vinning siljish qonuni.

Absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining maksimumiga mos keluvchi λ_m to'liqin uzunlikning absolyut temperaturaga ko'paytmasi o'zgarmas kattalikdir.



48.5-rasm

$$\lambda_m \cdot T = b$$

Bu yerda: $b = 2,898 \cdot 10^{-3} [m \cdot K]$ – Vin doimiysi.

Rasmdan ko'rinadiki, T qancha yuqori bo'lsa, λ_m shuncha kichiklashib borar ekan.

3-qonun. Vinning 2-qonuni.

Absolyut qora jism λ_m to'liqin uzunlikdagi nurni chiqarish qobiliyati temperaturaning beshinchi darajasiga bog'liq ravishda ortadi.

$$r_{\lambda_m T} = c \cdot T^5 \left[\frac{\text{Vt}}{\text{m}^3} \right]$$

Bu yerda: $c = 1,29 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{Vt}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}^5} \right]$ – konstanta.

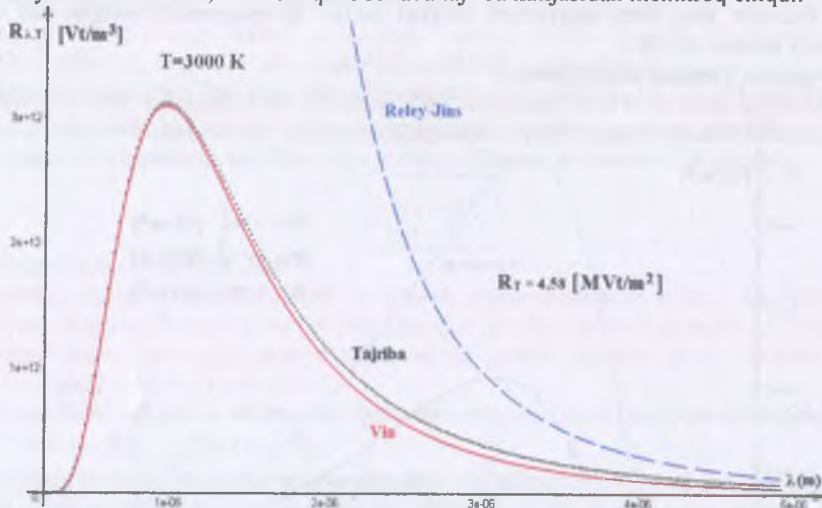
48.5-rasmdagi egri chiziqni tushuntirish yo'lida termodinamika va statistik fizika qonunlariga asoslanib $R = R(\lambda, T)$ bog'liqlik ifodasini hosil qilish uchun ko'p urinishlar bo'lgan. Bulardan e'tiborga loyig'i 2ta urinish:

1. Termodinamik mulohozalar asosida Vin quyidagi formulani taklif etdi.

$$R_{\lambda, T} = \frac{\alpha}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{\beta}{\lambda T}} \left[\frac{V_l}{m^3} \right]$$

Bu yerda: α va β – tanlab olingan shunday sonlarki, natijada 48.6-rasmdagi Vinning grafigi tajribada topilgan qiymatlar (rasmda nuqtalar) bilan mumkin qadar ustma-ust tushadi.

Vin formulasi yordamida hosil qilingan grafik tajriba natijalari bilan qisqa to'liqinli sohada yaxshi mos keldi, katta to'liqinli sohada tajriba natijasidan kichikroq chiqdi.



48.6-rasm

2. Reley va Jins issiqlik nurlanishiga statistik metodlarini tatbiq etib hamda absalyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati uchun quyidagi ifodani oldi.

$$R_{\lambda, T} = \frac{2 \pi c k T}{\lambda^4} \left[\frac{V_l}{m^3} \right]$$

Bu yerda: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} [J/K]$ – Bolsman doimiysi, $c = 3 \cdot 10^8 m/s$ – yorug'lik tezligi.

Bu formula bilan hisoblab topilgan qiymatlar (48.6-rasm, punktir chiziq) tajriba natijalari (rasmda nuqtalar) bilan katta to'liqinli sohada yaxshi mos keldi, kichik to'liqinli sohada esa cheksiz katta qiymat chiqdi. Vaholanki, λ_m qiymatdan boshlab $R_{\lambda, T}$ ning qiymati nolgacha kamayib borishi kerak edi, ya'ni "ultrabinafsha halokati" yuz berish kerak edi. Bundan tashqari Reley-Jins formulasidan Stefan-Bolsman formulasini keltirib chiqarish ham omadsizlikka uchradi.

$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\lambda, T} \cdot d\lambda = 2 \pi c k T \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^4} = 2 \pi c k T \left(-\frac{1}{3 \lambda^3} \right) \Big|_0^{\infty} = \infty \left[\frac{V_l}{m^2} \right]$$

Tajribaga mos kelishlik nuqtai-nazaridan Vin formulasi Reley-Jins formulasidan avzaloq tuyuladi. Lekin bunday emas. Reley-Jins formulasiga Vin formulasidagi kabi ixtiyoriy tanlab olinadigan konstantalar ishlatilmagan, ya'ni klassik fizikaga qat'iy ravishda tayanib hisoblangan. Shuning uchun ham tajriba natijalaridan kelib chiqqan

“ultrabinafsha halokat”ni klassik fizika tushuntirib, berishga qodir emas. Maks Plankning e’tiborini jalb qilgan ahvol ham shu edi.

Plank formulasi:

1920 yil Maks Plank “ultrabinafsha halokat”ni bartaraf qilish uchun klassik nazariyaga zid bo’lgan o’zining gipotezasini ilgari surdi. U klassik fizika zaminida kamchilik bor deb hisobladi. Plank gipotezasining mohiyati quyidagidan iborat edi:

Jismlarning nurlanishi uzluksiz emas, balki alohida ulushlar (kvantlar, porsiyalar) sifatida chiqariladi.

Nurlanish har bir ulushining, ya’ni nurlanish kvantining energiyasi quyidagicha bo’ladi:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad [J]$$

Bu yerda: $\nu = \frac{c}{\lambda}$ – nurlanish chastotasi, h – Plank nomi bilan mashhur konstanta.

Yuqoridagi formulaga asosan qisqa to’lqinlar sohasida nurlanish kvantining energiyasi ortib boradi. $\lambda \rightarrow 0$ bo’lganda esa kvant energiyasi shu darajada katta bo’ladiki, natijada jism issiqlik harakatining energiyasi hatto bitta kvant chiqarishga ham yetmay qoladi. Qisqa to’lqinlar sohasida $R_{\lambda,T}$ ning qiymati keskin kamayib ketishini shu tarzda tushuntirish mumkin.

Plank o’zining gipotezasiga asoslanib va statistik fizika qonunlaridan foydalanib absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyati uchun quyidagi formulani hosil qildi.

$$E_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad \left[\frac{Vt}{m^3} \right]$$

Plank formulasi asosida hosil qilingan qiymatlar tajribada topilgan qiymatlar bilan to’lqin uzunligining barcha sohasida ustma-ust tushdi.

Plank formulasidan foydalanib, absolyut qora jism nurlanishining empirik ravishda aniqlangan barcha qonunlarini hosil qilish mumkin.

1. Stefan-Bolsman qonunini hosil qilish uchun Plank formulasini $0 < \lambda < \infty$ intervalda integrallaymiz.

$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\lambda,T} \cdot d\lambda = 2\pi hc^2 T \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)}$$

Ishni osonlashtirish uchun yangi $x = \frac{\lambda kT}{hc}$ o’zgaruvchi kiritamiz. λ va $d\lambda$ larni x orqali ifodalaymiz. $\lambda = \frac{hc}{kT} x$, $d\lambda = \frac{hc}{kT} dx$. Natijada quyidagini hosil qilamiz:

$$R_T = 2\pi hc^2 \left(\frac{kT}{hc} \right)^4 \int_0^{\infty} \frac{dx}{x^5 \cdot \left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right)}$$

Bundagi integral qismni ostidagi funksiyaning qatorga yoyib integrallanadi. Natijada, $\int_0^{\infty} \frac{dx}{x^5 \cdot \left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right)} = \frac{\pi^4}{15}$ qiymat chiqadi. Shunga ko’ra integral natijasi quyidagicha bo’ladi:

$$R_T = 2\pi h c^2 \left(\frac{kT}{hc} \right)^4 \cdot \frac{\pi^4}{15} = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$

Demak, Stefan-Bolsman formulasi quyidagicha bo'lar ekan:

$$R_T = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \left[\frac{V_l}{m^3} \right], \quad \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} = 5,642 \cdot 10^{-8} \left[\frac{V_l}{m^2 K^4} \right]$$

2. Vinning siljish qonunini hosil qilish uchun Plank formulasining hosilasi 0 ga teng bo'lgan nuqtasini topamiz. Ana shu nuqtada egri chiziq o'zining λ_m qiymatiga erishadi.

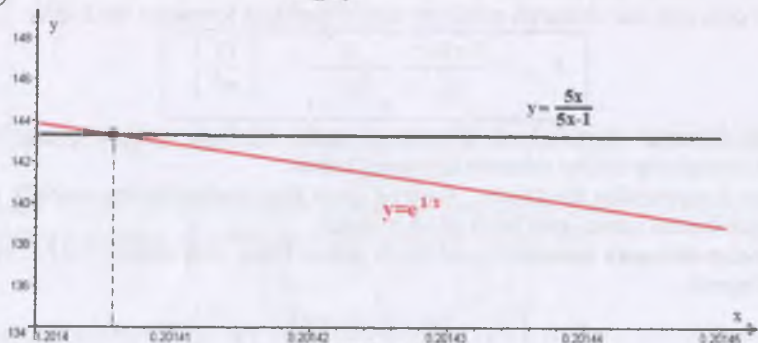
$R_{\lambda,T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT}} - 1}$ funksiyadan $R'(\lambda, T) = 0$ bo'lgan λ_m nuqtani topamiz. Buni

belgilash kirib ishlaymiz.

$$x = \frac{\lambda k T}{hc}, \rightarrow \lambda = \frac{hc}{kT} x, \rightarrow d\lambda = \frac{hc}{kT} dx, \quad R_{\lambda,T} = \left(\frac{hc}{kT} \right)^5 \cdot \frac{1}{e^{\frac{1}{x}} - 1} = 2\pi h c^2 \left(\frac{kT}{hc} \right)^5 \frac{1}{\left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right) \cdot x^5}$$

$$R'_{\lambda,T} = 2\pi h c^2 \left(\frac{kT}{hc} \right)^5 \cdot \frac{0 - 5x^4 \left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right) - x^5 \left(-\frac{1}{x^2} \right) \cdot e^{\frac{1}{x}}}{\left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right)^2 \cdot x^{10}} = 0, \rightarrow -5x^4 \left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right) + x^3 \cdot e^{\frac{1}{x}} = 0 : (-x^3);$$

$$5x \left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right) = 5x, \rightarrow e^{\frac{1}{x}} (5x - 1) = 5x, \rightarrow e^{\frac{1}{x}} = \frac{5x}{5x - 1}$$



48.7-rasm

Demak, tenglamani yechish uchun $\begin{cases} y = e^{\frac{1}{x}} \\ y = \frac{5x}{5x-1} \end{cases}$ funksiyalarning grafiklarini qurib, so'ngra

bu grafiklar kesishgan nuqtaning koordinatasi topiladi. Topilgan koordinata tenglama echimi bo'ladi. Grafiklar $x = 0,20141 = \frac{1}{4,965}$ nuqtada kesishadi. Bundan Vinning siljish doimiysini topish mumkin.

$$x = \frac{\lambda k T}{hc} = \frac{1}{4,965}, \rightarrow \lambda_{M,T} = \frac{hc}{4,965 k} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,965 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 0,0029 [m \cdot K]$$

Demak, Plank formulasidan Vinning siljish qonuni kelib chiqar ekan.

$$\lambda_{M,T} = \frac{hc}{4,97 k}, \quad b = \frac{hc}{4,97 k} = 2,9 \cdot 10^{-3} [m \cdot K]$$

Shunday qilib, Plank formulasi issiqlik nurlanishining barcha sabablarini ochib bera oldi. Bu formula nurlanish spektridagi energiya taqsimotini anglatadi.



1. Elektromagnit nurlanish nima? Uning qanday turlari bor?
2. Jismning nur yutish, nur o'tkazish va nur qaytarish qoyuliyatlariga ta'rif bering. Shaffof jismlar uchun ularning qiymatlari qanday? Absolyut oq va absolyut qora jismlar uchunchi?
3. Jismning nur chiqarish qobiliyati va to'la nur chiqarish qobiliyati formulalarini yozing va o'lchov birliklarini ayting. Absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati va to'la nur chiqarish qobiliyati formulalarini yozing va o'lchov birliklarini ayting.
4. Absolyut qora jism modelini tushuntirib bering.
5. Issiqlik nurlanish boshqa turdagi nurlanishlardan nimasi bilan farq qiladi?
6. Kirxgoffning integral va differensial qonunlarini aytib bering va formulasini yozing.
7. Stefan-Bolsman qonunini ayting va formulasini yozing.
8. Vinning 1-qonuni (siljish qonuni)ni ayting va formulasini yozing. Vin doimiysi nimaga teng?
9. Vinning 2-qonunini ayting va formulasini yozing.
10. Absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining temperatura va to'lqin uzunlikka bog'liqlik xarakterini aniqlash uchun Vin termodinamik mulohazalar asosida qanday formulani taklif etdi? Formuladagi konstantalarni qanday yo'l bilan olgan? Bu tajriba bilan qanchalik darajada ustma-ust tushdi?
11. Absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining temperatura va to'lqin uzunlikka bog'liqlik xarakterini aniqlash uchun statistik metodlarni tadbiq qilib qanday formulani taklif etdi? Bu tajriba bilan qanchalik darajada ustma-ust tushdi?
12. Maks Plank qanday formulani taklif etdi. Bu tajriba bilan qanchalik darajada ustma-ust tushdi? Plank g'oyasi asosida nima yotadi?
13. Plank formulasidan Stefan-Bolsman va Vin doimiylari qanday keltirib chiqariladi?

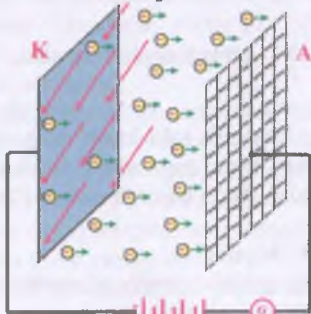


§ 49. FOTOEFFEKT QONUNLARI VA FOTOEFFEKT NAZARIYASI.

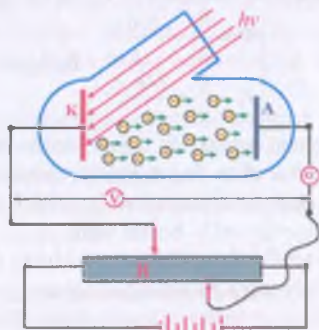
Fotoeffekt qonunlari:

Fotoeffekt – yorug'lik ta'sirida jismdan elektronning uchib chiqish hodisasi.

Bu hodisani birinchi bo'lib, Genrix Gers 1887 yilda kuzatgan. Miqdoriy tekshirishlarni esa A.G.Stoletov bajardi. 49.1-rasmda Stoletov tajribasining sxemasi keltirilgan. Ikki metall elektroddan biri metall plastina bo'lib, ikkinchisi esa to'rsimon edi. Bu elektrodlar galvanometr orqali batareyaga ulandi. Metal plastina katod vazifasini to'r esa anod vazifasini bajaradi.



49.1-rasm

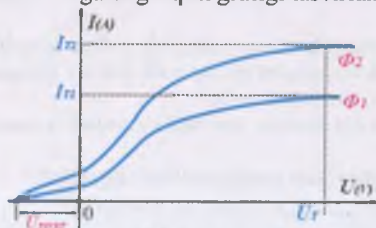


49.2-rasm

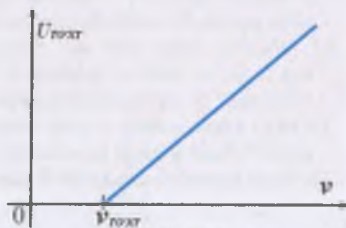
Qurilma qorong'ulikka joylashtirilganda galvanometr nolni ko'rsatdi. Katod yoritilganda esa darhol galvanometr tok o'tayotganligini ko'rsatdi. Demak, yorug'lik ta'sirida ajralib chiqayotgan zarralar manfiy zarralar ekan. Ular katoddan ajralib anodga tomon tortilyapti va zaryadli zarralar ko'chkisi zanjirda tokni yuzaga keltiryapti. Bu tokni *fototok* deb ataldi.

1898 yil Leonard va Tomson katoddan ajralib chiqqan zarralarning magnit maydonda og'ishiga qarab zaryadning massaga nisbatini aniqladilar. Bunga ko'ra $\frac{q}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Kl/kg}$

bo'lib chiqdi. Demak, bu noma'lum zarra elektron ekan degan xulosaga kelishdi. Tajribalarda shu narsa aniqlandiki, fotoeffekt hodisasi plastinka materialiga va uning sirtining tozalik darajasiga bog'liq ekan. Bu hodisani yaxshiroq o'rganish uchun 49.2-rasmdagi qurilmadan foydalanildi. Havosi so'rib olingan shisha idish katod tekshirilishi kerak bo'lgan metall bilan qoplandi. Uni odatda fotokatod deb ataladi. Monoxromatik nurlar dastasi shisha idish derazasidan o'tib, katod sirtiga tushadi. Sxemadagi potensiometr elektrodlar orasidagi kuchlanishning miqdori va yo'nalishini o'zgartiradi. Kuchlanish voltmetr bilan, fototok esa galvanometr bilan o'lchanadi. 49.3-rasmda yorug'lik oqimi F_1 va F_2 bo'lgan hollar uchun fototokning katod va anod orasidagi kuchlanishga bog'liqlik grafigi tasvirlangan.



49.3-rasm



49.4-rasm

Rasmdan ko'rinishicha, elektr maydon tezlatuvchi xarakterga ega bo'lganda (K da $(-)$, A da esa $(+)$) fotokning qiymati kuchlanishga monand ravishda oshib boradi. Kuchlanishning biror qiymatidan boshlab fototok qiymati o'zgarmay qoladi, ya'ni to'yinadi. Bunda katoddan chiqqan har bir elektron anodga etib kelyapti, kuchlanishni yanada oshirish foyda bermaydi. Fototokning bu qiymatini *to'yinish toki* deyiladi. Lekin, fotokatodga tushayotgan yorug'lik oqimi oshirilsa, fototokning qiymati ham oshar ekan. Masalan, 49.3-rasmda $F_2 > F_1$ da $I_{T2} > I_{T1}$ bo'ladi.

$$\begin{cases} \Phi = \frac{W}{t} = \frac{N h \nu}{t} \\ I_T = \frac{q}{t} = \frac{N e}{t} \end{cases} \quad \text{bo'lgani uchun} \quad \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{I_{T2}}{I_{T1}} \quad \text{bo'ladi deyish mumkin.}$$

Demak, yorug'lik oqimi necha marta oshirilsa, to'yinish toki kuchi ham shuncha marta oshar ekan degan xulosa chiqarish mumkin. Lekin, shuni ham eslatib o'tish kerakki, ikkala xarakteristikada ham to'yinish aynan bitta kuchlanishdan boshlab sodir bo'lar ekan, ya'ni $U_{T2} = U_{T1} = U_T$ bo'lar ekan.

Bu tajriba fotoeffektning birinchi qonunini keltirib chiqaradi.

Muayyan fotokatodga tushayotgan yorug'likning spektral tarkibi o'zgarmas bo'lsa, fotokning to'yinish qiymati yorug'lik oqimiga to'g'ri proporsionaldir.

49.3-rasmda katod va anod orasidagi kuchlanish nolga teng bo'lganda ham fototok mavjud. Hatto $U < 0$ bo'lgan (Kda (+), Ada esa (-)) hollarda ham fototok kuzatiladi. Bunday holda elektr maydon to'xtatuvchi xarakterga ega bo'lib, Kdan Aga harakatlanayotgan fotoelektronlar maydon kuchlariga qarshi ish bajaradi. Bu ish fotoelektronlarning kinetik energiyasi evaziga bajariladi. Agar elektr maydon etarlicha katta bo'lsa, fotoelektronlar anodga etib bormasdan o'z energiyasini sarflab qo'yadi. Bu holga mos keluvchi tormozlovchi kuchlanishning qiymatini *to'xtatuvchi kuchlanish* U_{TOXT} (ba'zan to'xtatuvchi potensial) deyiladi. Rasmdan ko'rinishicha $U < 0$ da tormozlovchi maydon kuchaytirilgan sari fototok ohista kamayib boradi. $U = U_{TOXT}$ da esa $I = 0$ bo'ladi. Demak, fotokatoddan ajralib chiqayotgan elektronlarning tezliklari turlicha bo'lib, $U = U_{TOXT}$ da hatto eng katta tezlikka ega bo'lgan fotoelektron ham manzilga yetib kelishga kinetik energiyasi (qurbi) yetmayapti. Bu chegaraviy holni quyidagicha yozamiz:

$$eU_{TOXT} = \frac{1}{2} m \vartheta_{\max}^2$$

Bu yerda: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ — elektron zaryadi va massasi, $\vartheta_{\max}$ — fotoelektronning maksimal tezligi.

Yuqoridagi ifodadan $\vartheta_{\max}$ ni topamiz.

$$\vartheta_{\max} = \sqrt{\frac{2eU_{TOXT}}{m_e}} = 5,93 \cdot 10^5 \sqrt{U_{TOXT}} \quad [m/s]$$

Chastotalar turlicha bo'lgan monoxromatik nurlar bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida fotoeffektning ikkinchi qonunini yuzaga keladi.

Muayyan fotokatoddan ajralib chiqayotgan fotoelektronlar boshlang'ich tezliklarining maksimal qiymati yorug'lik oqimiga bog'liq emas. Yorug'lik chastotasi o'zgarsa, fotoelektronlarning maksimal tezliklari ham o'zgaradi.

49.4-rasmda to'xtatuvchi kuchlanishning yorug'lik chastotasiga bog'liqlik grafigi tasvirlangan. Rasmdan ko'rinishicha, to'xtatuvchi kuchlanish yorug'lik chastotasiga chiziqli bog'langan ekan. Chastotaning biror ν_q qiymatida $U_{toxt} = 0$, ya'ni $\vartheta_{\max} = 0$ bo'lar ekan. $\nu > \nu_q$ chastotali yorug'lik fotoeffektini yuzaga keltirmas ekan. Fotoeffekt sodir bo'lishi uchun $\nu > \nu_q$ chastotali yorug'lik ta'sir etish kerak. $\nu = \nu_q$ bo'lgan chegaraviy chastotani *chastotaning qizil chegarasi* deyiladi.

Fotoeffektning uchinchi qonunini ana shu qizil chegara haqidagi xulosadir.

Har bir fotokatod uchun biror "qizil chegara" mavjud bo'lib, bu chegaradan kichikroq chastotali yorug'lik bilan fotoeffekt yuzaga kelmaydi. ν_K ning qiymati yorug'lik intensivligiga mutlaqo bog'liq emas, u faqat fotokatod materiali va sirtning tozaligiga bog'liq.

Kuzatishlardan shu narsa ma'lum bo'ldiki, fotoelementga yorug'lik tushgani zahoti, galvanometr tok o'tayotganligini ko'rsatdi, ya'ni fototokni ko'rish uchun vaqt sarflanmadi. Nihoyat, fotoeffektning to'rtinchi qonunini quyidagicha ta'riflanadi:

Yorug'likning fotokatodga tushishi bilan, fotoelektronlarning hosil bo'lishi orasida sezilarli vaqt o'tmaydi, ya'ni fotoeffekt inersiyasiz jarayondir.

Fotoeffekt nazariyasi:

Fotoeffektning faqat 1-qonunini to'liqin nazariya asosida tushuntirish mumkin. Lekin, 2-, 3- va 4-qonunlarni to'liqin nazariya tushuntirishga ojizlik qiladi.

To'liq nazariyaga ko'ra haqiqatan ham ixtiyoriy to'liq uzunlikdagi yorug'lik intensivligi ortgan sari fotoelektronlarning energiyasi ham ortib borishi kerak edi. Lekin, tajribalarning ko'rsatishicha fotoelektronlarning energiyasi yorug'lik intensivligiga mutlaqo bog'liq emas ekan.

Ikkinchidan, to'liq nazariyaga ko'ra elektron metallardan ajralib chiqishi uchun kerak bo'lgan energiyani har qanday uzunlikdagi to'liqdan olish mumkin. Faqat intensivlik yetarlicha katta bo'lishi kerak. Lekin, to'liq uzunligi "qizil chegara"dan katta bo'lgan yorug'lik intensivligi har qancha katta bo'lsa ham fotoeffekt hosil qila olmadi. Aksincha, to'liq uzunligi "qizil chegara"dan kichik bo'lgan yorug'lik juda past intensivlikka ega bo'lsa ham fotoeffekt hosil qila oldi. Bundan tashqari nihoyat zaif intensivlikdagi yorug'lik tushayotganda to'liq nazariyaga asosan, metallardagi elektron metallardan chiqishi uchun kerak bo'lgan energiyani yig'ib olishi uchun soatlab vaqt kerak. Tajribalarda esa metallga yorug'lik tushishi va va fotoelektron vujudga kelishi orasida 10^{-9} s chamasi vaqt o'tar ekan. Boshqacha aytganda, fotoeffekt hodisasi inersiyasiz jarayon ekan deyish mumkin.

Demak, yorug'likning to'liq nazariyasi va fotoeffekt orasida mos kelmasliklar mavjud ekan. Shuning uchun, yorug'likni uzluksiz elektromagnit to'liqini deb tasavvur etish yorug'likning tabiatini to'la aks ettirmas ekan, degan fikr paydo bo'ldi. Bu fikr 1905 yil Eynshteyn yorug'likning kvant tabiatini yaratishiga asos bo'ldi. Eynshteyn Plank gipotezasini rivojlantirib quyidagi g'oyani ilgari surdi:

Yorug'lik kvantlar tariqasida nurlanibgina qolmay, balki yorug'likning tarqalishi ham, yutilishi ham kvantlashgan bo'ladi.

Bu g'oyaga asosan yorug'lik oqimini yorug'lik kvantlari (fotonlar) oqimi deb tasavvur qilish lozim. Fotoeffekt hodisasida esa bu fotonlardan ayrimlarining metall sirtiga yaqin joylashgan ayrim elektronlar bilan ta'sirlashuvi ro'y berar ekan (odatda, metall sirtiga tushayotgan fotonlarning taxminan mingdan biri fotoeffektini hosil qilishda ishtirok etadi, qolganlari esa kristal panjaralari bilan ta'sirlashadi).

Eynshteyn fotoeffektga energiyani saqlanish qonunini qo'lladi. $h\nu$ energiyali foton elektronga urilganda o'z energiyasini elektronga beradi.

Ta'sirlashuvga qadar yorug'lik kvanti tarzida namoyon bo'layotgan energiya ta'sirlashuvdan keyin elektronning energiyasiga aylanadi. Agar bu energiya yetarlicha katta ($h\nu > A_{chik}$) bo'lsa, metalladan elektron ajralib chiqadi. Energiyaning qolgan qismi esa metallardan tashqariga chiqib olgan elektronning (fotoelektronning) maksimal kinetik energiyasiga aylanadi.

$$h\nu = A_{chik} + \frac{m_e v_{max}^2}{2}$$

Biz hozirgina elektronning maksimal kinetik energiyasi degan so'zni ishlatdik. Nima, fotoelektronlarning boshqacha energiyasi ham bo'lishi mumkinmi? –Mumkin, bunga quyidagicha javob beramiz.

Agar foton kristal panjara sirtidagi elektronga tushsa, elektron faqat metallardan chiqib olish uchungina energiya sarflaydi. Bu sarflagan energiyasi *metalladan chiqish ishi* deyilib, qolgan energiya esa elektronning maksimal kinetik energiyasi deyiladi. Chiqish ishining qiymati bir necha eV tartibida bo'lib, u metall turiga bog'liq. 1-jadvalda chiqish ishining har xil metallar uchun qiymatlari berilgan (eV). Jadvaldan foydalanishda $1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$ deb hisoblash kerak.

Volfram	4,5	Mis	4,47	Kumush	4,74
Temir	4,74	Molibden	4,2	Simob	4,52
Oltin	4,68	Natriy	2,3	Rubidiy	2,13
Kaliy	2,2	Nikel	5,0	Tantal	4,07
Litiy	2,4	Bariy Oksid	1,0	Seziy	1,97
Magniy	3,46	Platina	5,29	Rux	4,2

Agar foton kristall panjaraning ichkariroq qismidagi elektronga tushsa, bu elektron kristall panjara sirtiga yetib kelguncha panjara tugunlaridagi atomlar bilan bir necha marta noelastik to'qnashib o'z energiyasini kamaytiradi. Demak, bunda elektron tashqariga chiqquncha chiqish ishidan tashqari panjara tugunlari bilan to'qnashuvda ham energiya yo'qotar ekan. Ortib qolgan energiya elektronning maksimal kinetik energiyasidan kichik bo'ladi.

Fotoeffekt uchun Eynshteyn formulasidan foydalanib, Plank nomi bilan mashhur konstantaning son qiymatini aniqlash mumkin. Agar kuchlanish to'xtatuvchi xususiyatga ega bo'lsa, elektronlarning maksimal kinetik energiyasi katoddan chiqib anodga tomon borayotganda elektr maydoniga qarshi ish bajarishga sarf bo'ladi. Demak, $eU_{to'xt.2} = \frac{1}{2} m v_{max}^2$

bo'lar ekan. Shuni bilgan holda Plank doimiysini topish mumkin.

$$\begin{cases} h\nu_1 = A_{CHQ} + \frac{m_e v_{max,1}^2}{2} = A_{chig} + eU_{to'xt,1} \\ h\nu_2 = A_{CHQ} + \frac{m_e v_{max,2}^2}{2} = A_{chig} + eU_{to'xt,2} \end{cases} \rightarrow h\nu_2 - h\nu_1 = eU_{to'xt,2} - eU_{to'xt,1} \rightarrow h = \frac{e(U_{T,2} - U_{T,1})}{\nu_2 - \nu_1}$$

Shunday qilib, agar fotoplastinka ν_1 chastotali monoxromatik nur bilan yoritilganda, fototokni to'xtatuvchi potensial U_1 bo'lsa va ν_2 chastotali monoxromatik nur bilan yoritilganda esa, fototokni to'xtatuvchi potensial U_2 bo'lsa, Plank doimiysini topish formulasi quyodagicha bo'lar ekan:

$$h = \frac{e(U_{T,2} - U_{T,1})}{\nu_2 - \nu_1}$$

Metallan elektron tashqariga ajralib chiqayotganligi uchun yuqoridagi formulani **tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi** deyiladi.

Eynshteyn tenglamasi fotoeffektning barcha qonunlarini tushuntira oladi. Xususan, fotoeffekt amalga oshishi uchun kerak bo'ladigan fotonning eng kichik qiymati, elektronning metallan chiqish ishi qiymatiga teng bo'ladi.

$$A_{chig} = h \nu_g = \frac{hc}{\lambda_g}$$

Bu ifoda fotoeffektning "qizil chegara" sini aniqlaydi. "Qizil chegara" tushayotgan yorug'lik intensivligiga mutlaqo bog'liq emas. Yorug'lik intensivligi fotonlar sonini xarakterlaydi, xolos. Intensivroq yorug'lik bilan yoritilsa metall sirtiga ko'proq foton kelib tushadi va bu fotoelektronlar soni ortishiga sabab bo'ladi. Demak, tok kuchi ham ortar ekan.

Chastota yoki to'liqin uzunlikning qizil chegarasi quyidagicha topiladi:

$$\nu_g = \frac{A_{chig}}{h}, \quad \lambda_g = \frac{hc}{A_{chig}}$$

Bu yerda $h = 6,63 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$ — Plank nomi bilan mashhur konstanta.

Masalalar yechishda oson bo'lish uchun yuqoridagi formulada $hc = 1,9878 \cdot 10^{-25} [J \cdot m] \approx 2 \cdot 10^{-25} [J \cdot m]$ deb hisoblash mumkin.

Eynshteyn tenglamasi elektron faqat bitta fotonni yutadi degan tasavvurga asoslangan. Agar metall sirti intensivligi juda katta bo'lgan yorug'lik bilan yoritilsa, elektronga bir vaqtda ikkita foton tushishi mumkin. Elektron yutgan energiya ikkala foton energiyasiga teng. Bunda sodir bo'ladigan fotoeffekt **ko'p fotonli fotoeffekt** deyiladi. Tabiiyki, ko'p fotonli fotoeffektning "qizil chegarasi" kichik chastotalar sohasiga siljiydi.

Fotoeffekt yorug'likning kvant tabiatini namoyish qiluvchi dalillardan biridir.



1. Fotoeffekt deb nimaga aytiladi?
2. Fotoeffekt qonunlarini aytib bering. Bu qonunlarning qaysilarini to'liq nazariya bo'yicha tushuntirib bo'lmaydi?
3. Fotoeffekt uchun Eynshteyn formulasini yozing.
4. Qizil chegara nima? Qizil chegarani aniqlovchi chastota vato'liq uzunli formulasini yozing.
5. To'xtatuvchi potensial nima? Elektronning maksimal kinetik energiyasi deganda nimani tushunasiz?
6. Fotoelektronning maksimal tezligini aniqlovchi formulani keltirib chiqaring.



§ 50. FOTON VA UNING XARAKTERISTIKALARI. KOMPTON EFFEKTI VA YORUG'LIK BOSIMINI KVANT NAZARIYA BO'YICHA TUSHUNTIRISH.

Fotonning xarakteristikalari:

Issiqlik nurlanishi, fotoeffekt hodisalarini yorug'likning kvant nazariyasi asosida tushuntirildi. Yorug'lik zarralar oqimi, ya'ni fotonlar oqimidan iborat bo'lib, yorug'lik energiyasi ana shu fotonlarda mujassamlashgan. Foton energiyasi va tebranish chastotasi orasida bog'lanish $\varepsilon = h\nu$ munosabat bilan aniqlanadi. Ikkinchidan, massa va energiya orasidagi $W = mc^2$ bog'lanishni e'tiborga olsak, fotonning massasini topish mumkin.

$$m_f = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$$

Bunda hisoblab topilgan massa foton $\mathcal{G} = c$ tezlik bilan harakatlangandagi qiymatdir. Xo'sh, fotonning tinchlikdagi massasi qanday? Buni nisbiylik nazariyasidagi formula bo'yicha topamiz.

$$m_0 = m_f \sqrt{1 - (\mathcal{G}/c)^2} = m_f \sqrt{1 - (c/c)^2} = m_f \sqrt{1 - 1} = 0$$

Demak, yorug'lik fotonining tinchlikdagi massasi $m_f = 0$ ekan. Boshqacha aytganda, "foton to'xtab qolsa", uning barcha xususiyatlari ham yo'qoladi. Massasi ham, energiyasi ham nolga teng bo'ladi. fotonning "to'xtashi" bu uning boshqa jism tomonidan yutilishidir. To'xtash jarayonida fotonning energiyasi va massasi uni yutuvchi jismga o'tadi. Natijada, yutuvchi jismning massasi va energiyasi ortadi.

Demak, yorug'lik fotonining boshqa zarralar (atom, molekula, elektron va h.) dan muhim farqi shundaki, u tinchlikda massaga ega bo'lmaydi. Foton faqat harakatlanish jarayonidagina mavjud bo'lib, uning tezligi yorug'lik tezligiga tengdir.

Har qanday harakatlanuvchi zarra kabi fotonlar ham impulsiga ega.

$$p_f = m_f c = \frac{h\nu}{c} \cdot c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad [kg \cdot m/s]$$

Boshqa zarralar kabi foton ham energiya $\varepsilon = h\nu$, massa $m_f = \frac{h\nu}{c^2}$, impuls $p_f = \frac{h\nu}{c}$ bilan xarakterlanadi. Massa va energiyaning mavjudligi – bu zarraning mavjudlik alomatidir.

Fotonlar tinchlikda massaga ega emas, ya'ni fotonning tinchlikdagi massasi nolga teng. Fotonlar paydo bo'lgani zahoti yorug'lik tezligiga erishadi.

Agar P quvvatga ega bo'lgan lampochka ν chastotali fotonlar nurlasa, Δt vaqtda nurlaydigan fotonlar soni quyidagicha bo'ladi:

$$N = \frac{P \Delta t}{h\nu}$$

Fotonning absolyut qora sirtga beradigan impulsu quyidagicha bo'ladi:

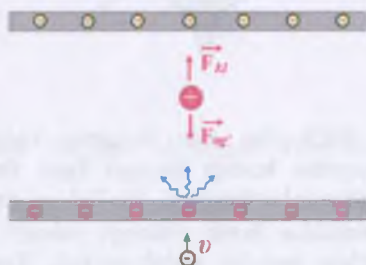
$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}$$

Fotonning absolyut oq sirtga beradigan impulsu quyidagicha bo'ladi:

$$p = \frac{2h}{\lambda} = \frac{2h\nu}{c}$$

Foton mavjudligi bir qancha tajribalarda tasdiqlandi va shulardan ba'zilar bilan tanishamiz.

A.F.Ioffe va N.I.Dobronravovlar amalga oshirgan tajribada zaryadlangan vismut (Bi) zarrasi yassi kondensator qoplamalari orasida muallaq turadi. Zarraning og'irlik kuchi kulon kuchi bilan muvozonatlashadi (50.1-rasm). Tajribada kondensatorning A qoplamasi bir vaqtning o'zida rentgen trubkasining anodi vazifasini bajaradi. Juda kichik intensivlikdagi elektronlar oqimi A anodga kelib urilgach tormozlanib rentgen nuri chiqaradi. $1s$ da



50.1-rasm

taxminan 1000 ga yaqin rentgen impulslari chiqariladi. Bu nurlar ta'sirida chamasi 30 min. vaqtda bir marta zarra titrab muvozonatdan chiqadi. Hisoblarning ko'rsatishicha, shu vaqt ichida zarra yo'nalishida bitta rentgen kvanti nurlanar ekan. Bu kvant zarra bilan to'qnashganda fotoeffekt hodisasi ro'y beradi. Natijada zaryadi o'zgargan zarra muvozonatdan chiqib titraydi. Demak, rentgen nurlarining zarra bilan ta'sirlashuvi kvant xarakterga ega ekan. Agar rentgen nurlari to'liqin tarzida tarqaladi deb tasavvur qilinsa, zarradan elektron ajralib chiqishi uchun kerak bo'lgan energiya chiqish ishi A_{chiq} ga yetguncha jamlanishi zarur. Rentgen nurining intensivligi juda past bo'lgani uchun A_{chiq} ga teng energiya yig'ilishini sutkalab kutish kerak bo'lar ekan.

S.I.Vavilovning fikriga ko'ra, yorug'lik oqimi fotonlar yig'indisidan iborat bo'lsa, statistika qonunlariga asosan fotonlarning fluktuatsiyasi (fluktuatsiya–fizik kattalikning o'rtacha qiymatdan tasodifiy chetga chiqishi) kuzatilishi lozim. 1933-1942 yillar davomida o'tkazilgan kuzatishlarda bu fikr tasdiqlandi. Natijada, yorug'likning foton tabiatini isbotlovchi yana bir dalilga erishildi.

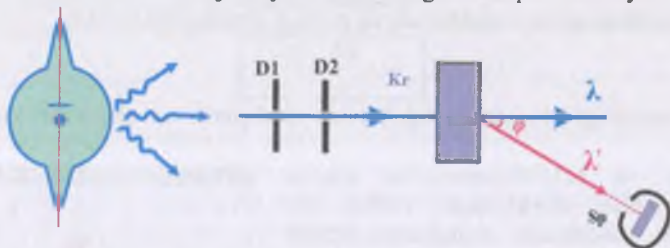
Kompton effekti:

Kompton effekti deb nom olgan hodisani 1923 yilda A.Kompton rentgen nurlarining sochilishiga oid tajribada aniqladi. Tajriba sxemasi 50.2-rasmda tasvirlangan. D_1 va D_2 diafragmalar yordamida ingichka dasta shakliga keltirilgan rentgen nurlari sochuvchi

kristal Kr ga tushadi. Sochilgan nurlarni rentgen spektrograf Sp da to'liqin uzunliklar bo'yicha analiz qiladi. Kompton rentgen nurlarining turli moddalarda sochilishini o'rganayotib, sochilgan nurlar tarkibida birlamchi to'liqin uzunligi λ bilan bir qatorda, undan kattaroq λ' to'liqin uzunlikka ega bo'lgan nurlarning ham borligini sezib qoldi. Lekin boshlang'ich tushish yo'nalishida to'liqin uzunlik o'zgarmas, ya'ni $\lambda = const$ bo'lib, tushish yo'nalishidan φ burchak hosil qilib sochilgan nurlarning to'liqin uzunligi kattaroq chiqishini payqadi. $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ ayirma λ ga ham, sochuvchi modda tabiatiga ham bog'liq bo'lmas ekan. Kompton tajriba yo'li bilan, tushayotgan va sochilgan nurlar to'liqin uzunliklari farqi faqat sochilish burchagiga bog'liq bo'lishini aniqladi.

$$\Delta\lambda = K(1 - \cos\varphi) = 2K \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

Bu yerda: $K = 2,41 \cdot 10^{-12} m$ – tajriba yo'li bilan olingan Kompton doimiysi.



50.2-rasm

1923 yilda Artur Kompton Vashington universitetida energiya va impulsning bir nuqtadan boshqa nuqtaga faqat fotonlar orqali ko'chirilishini isbotlovchi mashhur tajribasini o'tkazdi. U $\lambda = 70,1 nm$ to'liqin uzunlikdagi Rentgen nurlari dastasini uglerod kristalidan iborat nishonga yubordi. Rentgen nurining chastotasi katta bo'lgani bois, to'liqin uzunligi kichik bo'ladi. Kompton har tomonga sochilgan nurlarning to'liqin uzunligi va intensivligini o'ichadi. U faqat tushish yo'nalishidagi sochilgan nur avvalgiday $\lambda = 70,1 nm$ bo'lishini, qolgan φ burchak ostida nurlar esa tushuvchi nurdan $\Delta\lambda$ ga kattaroq, ya'ni $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$ bo'lishini va φ ning kattaroq qiymatida $\Delta\lambda$ ham kattaroq bo'lishini ko'rdi.

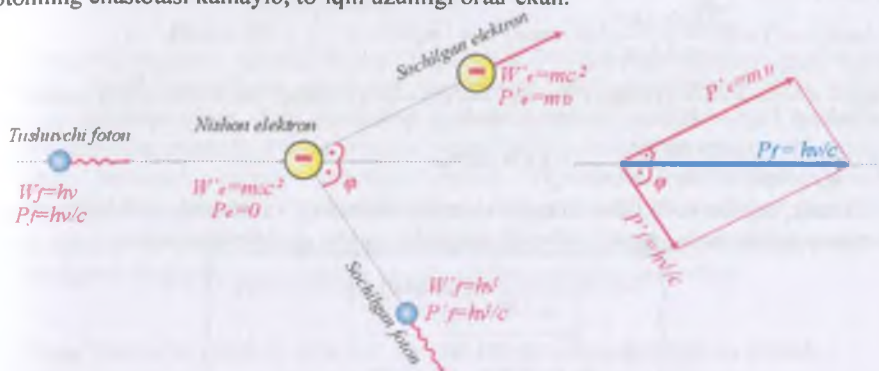
Keling, kompton effektini to'liqin nazariya bo'yicha tushuntirishga urinib ko'raylik. Rentgen nurlarining o'zgaruvchan elektr maydoni ta'sirida kristal atomlarining elektronlari majburan tebranadi va ular ikkilamchi to'liqinlar tarqatadi. Bu ikkilamchi to'liqinlarning (sochilgan rentgen nurlarining) chastotasi kristalga tushayotgan rentgen nurlarining chastotasi bilan bir xil bo'ladi. Tajribada kuzatilgan sochilgan nurlar chastotasining kamayishini to'liqin nazariya mutlaqo tushuntira olmas ekan.

Kompton effektini yorug'likning kvant nazariyasi asosida tushuntirildi. Kompton effektini rentgen fotonlarining amalda erkin deb hisoblangan elektronlar bilan elastik to'qnashish natijasi deb tushuntirish mumkin. Atom bilan juda kuchsiz bog'langan, bog'lanish energiyalari (ionlanish potentsiali) fotonning elektronga to'qnashish paytida beradigan energiyasidan ancha kichik bo'lgan elektronlarni erkin elektron deb hisoblash mumkin. Boshlang'ich paytda tinch turgan elektronga $W_f = h\nu$ energiya va $p_f = \frac{h\nu}{c}$

impulsga ega bo'lgan foton kelib tushayotgan bo'lsin (50.3-rasm). To'qnashish sodir bo'lguncha nishon elektronning energiyasi $W_e = m_0 c^2$ va impulsi $p_e = 0$ bo'lgan. Bunda

m_0 —elektronning tinchlikdagi massasi. To‘qnashish paytida elektron foton energiyasining bir qismini qa‘bul qiladi va ϑ tezlik bilan harakatga keladi. Natijada, bu sochilgan elektron $W'_e = mc^2$ energiya va $p'_e = m\vartheta$ impulsga erishadi. Bu yerda $m = m_0\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}$ bilan aniqlanadi. Foton esa dastlabki yo‘nalishdan φ burchak hosil qilib sochiladi.

Sochilgan fotonning energiyasi $W'_f = h\nu'$ va impuls $p'_f = \frac{h\nu'}{c}$ bo‘ladi. Foton energiyasining bir qismini elektronga bergani uchun energiyasi kamayadi. Demak, fotonning chastotasi kamayib, to‘lqin uzunligi ortar ekan.



50.3-rasm

Kompton formulasini nazariy isbotlash uchun energiya va impuls vektorining saqlanish qonunidan foydalanamiz.

$$\begin{cases} W_f + W_e = W'_f + W'_e \\ \vec{p}_f = \vec{p}'_f + \vec{p}'_e \end{cases}$$

Bu yerda:
$$\begin{cases} W_f = h\nu \\ W'_f = h\nu' \end{cases} \quad \begin{cases} p_f = \frac{h\nu}{c} \\ p'_f = \frac{h\nu'}{c} \end{cases} \quad \begin{cases} W_e = m_0c^2 \\ W'_e = mc^2 \end{cases} \quad \begin{cases} p_e = 0 \\ p'_e = m\vartheta \end{cases} \quad - \text{ foton va}$$

elektronning to‘qnashishgacha va to‘qnashishdan keyingi energiya va impulsdagi o‘zgarishlarini.

$$\begin{cases} h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2 & (*) \\ \left(\frac{h\nu}{c}\right) = \left(\frac{h\nu'}{c}\right) + (m\vartheta) & (**) \end{cases}$$

(*) ni c ga bo‘lib, undan m_0c hadni topib, so‘ngra kvadratga ko‘taramiz.

$$\frac{h\nu}{c} + m_0c = \frac{h\nu'}{c} + mc, \rightarrow mc = m_0c + \frac{h}{c}(\nu - \nu')$$

$$(mc)^2 = (m_0c)^2 + 2m_0c \cdot \frac{h}{c}(\nu - \nu') + \left(\frac{h}{c}(\nu - \nu')\right)^2 = (m_0c)^2 + 2m_0h(\nu - \nu') + \left(\frac{h}{c}(\nu - \nu')\right)^2$$

(**) dan elektronning impulsini topib, uni kvadratga oshiramiz.

$$(m\vartheta)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 - \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2$$

$$(m\vartheta)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\left(\frac{h\nu}{c}\right) \cdot \left(\frac{h\nu'}{c}\right) \cdot \cos\varphi$$

$(mc)^2 - (m\vartheta)^2$ amalini bajaramiz.

$$m^2(c^2 - \vartheta^2) = (m_0c)^2 + 2m_0h(\nu - \nu') - 2\left(\frac{h\nu}{c}\right) \cdot \left(\frac{h\nu'}{c}\right) \cdot (1 - \cos\varphi)$$

Quyidagi matematik almashtirishlarni bajarib, natijaga ega bo'lamiz.

$$\frac{m_0^2}{1 - \vartheta^2/c^2} (c^2 - \vartheta^2) - (m_0c)^2 - 2m_0h(\nu - \nu') = -2\left(\frac{h\nu}{c}\right) \cdot \left(\frac{h\nu'}{c}\right) \cdot (1 - \cos\varphi), \rightarrow$$

$$-2m_0h(\nu - \nu') = -2\left(\frac{h\nu}{c}\right) \cdot \left(\frac{h\nu'}{c}\right) \cdot (1 - \cos\varphi), \rightarrow m_0(\nu - \nu') = \frac{h}{c^2} \cdot \nu\nu' (1 - \cos\varphi), \rightarrow$$

$$m_0\left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda'}\right) = \frac{h}{c^2} \cdot \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{c}{\lambda'} \cdot (1 - \cos\varphi), \rightarrow m_0 \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda \cdot \lambda'} c = \frac{h}{\lambda \cdot \lambda'} \cdot (1 - \cos\varphi), \rightarrow \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\varphi)$$

$$K = \frac{h}{m_0c} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2,424 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Demak, tajriba yo'li bilan olingan kompton formulasi va empirik yo'li bilan olingan kompton doimiysining nazariy isbotlab chiqardik va ular quyidagicha ekan:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} \cdot (1 - \cos\varphi) = K \cdot (1 - \cos\varphi)$$

$$K = \frac{h}{m_0c} = 2,424 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

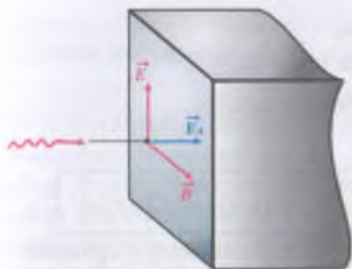
Biz nazariy yo'li bilan kompton doimiysining qiymatini yanada aniqroq chiqardik. Tajriba yo'li bilan esa $K = 2,41 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ qiymat olgan edik.

Yorug'lik bosimi:

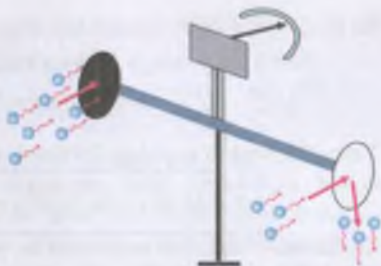
Maksvell nazariyasiga ko'ra, jism sirtiga tushayotgan har qanday elektromagnit to'lqin shu jismga bosim beradi. Bosimni vujudga kelishini quyidagicha tushuntiramiz. Yassi yorug'lik to'lqini metall sirtiga normal ravishda tushayotgan bo'lsin (50.4-rasm). U holda yorug'lik to'lqinining $\vec{E}$ va $\vec{B}$ vektorlari metall sirti bo'ylab yo'nalgan bo'ladi. Yorug'likning elektr maydoni $\vec{E}$ ta'sirida metall sirtiga yaqin joylashgan elektronlar maydonga teskari yo'nalishda harakatga kela boshlaydi. Lekin, shu vaqtning o'zida yorug'lik to'lqinining magnit maydoni $\vec{B}$ tomonidan harakatlanayotgan elektronga F_L Lorens kuchi ta'sir qiladi. Bu kuch metall sirtiga tik ravishda ichkariga yo'nalgan. Yoritilayotgan metall sirtining birlik yuziga ta'sir etayotgan Lorens kuchlarining yig'indisi yorug'lik bosimini hosil qiladi. Maksvell nazariyasi asosida o'tkazilgan hisoblar natijasida yorug'lik bosimi uchun quyidagi formula hosil qilindi.

$$P = (1 + \rho)\omega$$

Bu yerda: $\omega = \frac{W}{V} \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right]$ - sirtga tushayotgan yorug'lik dastasi energiyasining hajmiy zichligi, ρ - sirtning yorug'likni qaytarish koeffitsienti.



50.4-rasm



50.5-rasm

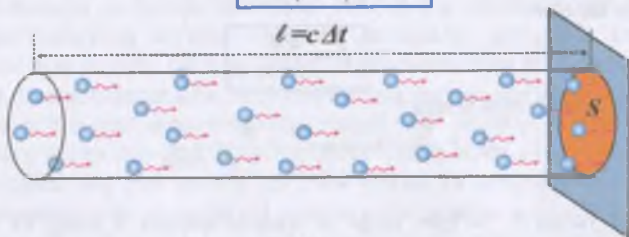
Yorug'lik bosimini birinchi bo'lib, 1900 yilda P.N.Lebedev tajribada quyidagicha aniqladi. Engil buraladigan parrakning qanotlaridan biri qoraytirilgan, ikkinchisi esa yaltiroq qilib yasalgan. Bu qanotlarni navbatma-navbat yoritish orqali parrakning buralishlari taqqoslanadi. Parrak o'qiga yopishtirilgan ko'zgudan qaytuvchi nurning og'ishiga asoslanib, buralish burchagi topiladi. Tajribalarda yorug'likning yaltiroq qanotga beradigan bosimi P_{yalt} qoraytirilgan qanotga beradigan bosimi P_{qor} dan ikki marta katta bo'lib chiqdi. Bu natija Maksvellning nazariy xulosasiga yaxshi mos keldi.

Haqiqatan ideal yaltiroq sirt uchun $\rho = 1$ va bosim quyidagicha bo'ladi:

$$P = (1 + \rho)\omega = 2\omega$$

Yorug'likni to'la yutuvchi qora sirt uchun $\rho = 0$ va bosim quyidagicha bo'ladi:

$$P = (1 + \rho)\omega = \omega$$



50.6-rasm

Yorug'likni kvant tasavvurlar asosida quyidagicha tushuntiramiz. Yuzasi S bo'lgan sirtga tik holda yorug'lik dastasi tushayotgan bo'lsin. Bu sirtga Δt vaqt ichida $V = S\ell = Sc\Delta t$ hajmdagi $N\epsilon$ foton tushishga ulguradi deb hisoblaylik. Tabiiy sharoitda yorug'lik tushayotgan sirt absolyut oq ham, absolyut qora ham emas. Shuning uchun, bu sirtning nur qaytarish qobiliyati ρ ($0 < \rho < 1$) ga teng bo'ladi. sirt o'ziga kelib tushgan $N\epsilon$ fotondan $\rho N\epsilon$ tasini qaytaradi, $(1-\rho)N\epsilon$ tasini esa yutadi. Qaytgan fotonlar sirtga $\rho N \cdot 2 m_F c$ ga teng impuls beradi, yutilgan fotonlar esa sirtga $(1-\rho)N m_F c$ ga teng impuls beradi. Natijada, Δt vaqt ichida sirt quyidagicha impuls oladi.

$$\Delta p = 2\rho N m_F c + (1 - \rho)N m_F c = N \cdot m_F c (2\rho + 1 - \rho) = (1 + \rho)N \cdot m_F c$$

Impulsning vaqt bo'yicha o'zgarishi kuchni beradi. Kuchning yuzaga nisbati esa bosimni beradi.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p}{S \Delta t} = \frac{(1 + \rho)N \cdot m_F c}{S \frac{\ell}{c}} = \frac{(1 + \rho)N \cdot m_F c^2}{V}$$

Bu yerda: $W_0 = m_f c^2$ – bitta fotonning energiyasi;

$W - N W_0$ – sirtga Δt vaqt ichida tushgan energiya;

$\omega = \frac{W}{V} \left[\frac{J}{m^2} \right]$ – yorug'lik energiyasining hajmiy zichligi.

Yorug'lik bosimi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$P = \Delta p = (1 + \rho) \frac{N \cdot m_f c^2}{V} = (1 + \rho) \frac{N \cdot W_0}{V} = (1 + \rho) \frac{W}{V} = (1 + \rho) \omega$$

Bu formula Maksvell nazariyasi bo'yicha chiqarilgan formulaning o'zginasidir.

Yorug'likning bosimga ega bo'lishini 1864-yilda J.K.Maksvell tomonidan aniqlangan. Eksperimental ravishda P.N.Lebedev tomonidan 1900-yilda $p = 4,8 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}$ ekanligini o'ichadi. Yorug'likning bosimga ega bo'lishi, fotonning impulsi borligini ifodalaydi, ya'ni son-sanoqsiz fotonlar beradigan impulslar yig'indisi qo'shilib sirtga beradigan bosimni hosil qiladi. Bitta fotonning absalyut oq sirtga va absalyut qora sirtga tushganda sirt oladigan impulslari ikki marta farq qiladi. Xuddi shuningdek, barcha fotonlar absalyut oq va qora sirtlarga tushganda hosil bo'ladigan bosimlar ham ikki marta farq qiladi.

Absalyut oq sirt uchun bosim

$$P = (1 + 1)\omega = 2\omega = 2 \frac{W}{V} = 2 \frac{W}{S \ell} = \frac{2W}{c S \Delta t}$$

bo'ladi.

Demak, agar yuzasi S bo'lgan sirtga Δt vaqtda tushgan W yorug'lik energiyasining hammasi yuzadan qaytsa, (absalyut oq sirt) yorug'likning sirtga beradigan bosimi quyidagicha bo'lar ekan:

$$P = \frac{2W}{c S \Delta t}$$

Absalyut qora sirt uchun bosim

$$P = (1 + 0)\omega = \omega = \frac{W}{V} = \frac{W}{S \ell} = \frac{W}{c S \Delta t}$$

bo'ladi.

Demak, agar yuzasi S bo'lgan sirtga Δt vaqtda tushgan W yorug'lik energiyasining hammasi sirtga yutilsa, (absalyut qora jism) yorug'likning sirtga beradigan bosimi quyidagicha bo'ladi:

$$P = \frac{W}{c S \Delta t}$$

Shunday qilib, yorug'likning sirtga beradigan bosimini miqdoriy baholovchi formulani faqat kvant nazariya bo'yicha hisoblash mumkin bo'ldi.



1. Foton nima? Fotonning massasi, energiyasi va impulsi formulalarini yozing.
2. Foton terminini kim kiritgan? Ioffe va Dobronravovlar yorug'lik zarralar oqmi ekanini qaysi yo'l bilan aniqlaganlar? Vavilov-chi?
3. Kompton effekti nima? Bu effekt qaysi nazariya asosida tushuntirildi?
4. Kompton doimiylikning formulasi va son qiymatini yozing. Kompton effektidagi to'lqin uzunlik o'zgarishi nimalarga bog'liq?
5. Yorug'lik bosimi dastlab qaysi va kimning nazariyasi asosida tushuntirilgan?
6. Yorug'lik bosimini qachon va kim tomonidan o'ichangan?
7. Yorug'lik bosimining formulasini yozing. Bu formula qaysi nazariya asosida keltirib chiqariladi?



§ 51. ELEKTROMAGNIT TO'LQINLAR SHKALASI.

Infraqizil va ultrabinafsha nurlar:

Oldingi bobda dispersiya hodisasi bilan tanishgan edik. Dispersiya hodisasini o'rganishda spektrlarga ajralgan nurlarga termometr biror vaqt davomida tutib turilganda temperatura ma'lum darajaga ko'tarildi. Yettita termometr olinib kamalakning yettita rangiga teng vaqt davomida tutib turilsa, eng yuqori temperaturani qizil nurga tutilgan termometr, eng past teperaturani esa binafsha nurga tutilgan termometr va qolgan termometrlar esa oraliq temperaturalarni ko'rsatar ekan. Bundan qizil nur o'zini issiqlik tarzda namoyon etar ekan degan xulosa chiqarish mumkin bo'ladi.

Agar termometr qizil nurdan tepa tomonga tutib turilsa, termometrning yanada kuchliroq qizib ketganligini guvohi bo'lish mumkin. Demak, qizil nurdan tepa tomonda ko'zimizga ko'rinmas qandaydir nur bor ekan. Ana shu nur o'zini qizil nurga nisbatan ham ko'proq issiqlik tarzida namoyon etar ekan. Spektrda qizil nurlardan avval joylashgan, ko'zga ko'rinmaydigan nurlar ($0,77-360\text{ mkm}$) *infraqizil nurlar* deyiladi.

Infraqizil nurlarning to'lqin uzunligi qizil nurlarga nisbatan katta, chastotasi esa kichik bo'ladi. Qizdirilgan har qanday jism infraqizil nurlarni chiqarganligidan *issiqlik nurlari* deyiladi. Xonadagi issiq pechka yoki isitish batareyasi atrofidagi jismlarni sezilarli darajada isituvchi infraqizil nurlar chiqaradi. Infraqizil nurlar lak-bo'yoq qoplamalarini, sabzavot va mevalarni quritishda ishlatiladi. Yirtqich hayvonlarning deyarli hammasi, it va boshqa hayvonlarning ko'rish diaploni insonnikiga qaraganda kengroq bo'lib, infraqizil sohani ham ko'radi. Shuning uchun, bu hayvonlarning ko'zi kechasi juda yaxshi ko'radi. Lekin, tovuq, kabutar kabi ba'zi qushlarning ko'rish diapozoni inson ko'zinikiga nisbatan torroq bo'lib, qizil nurni yaxshi ko'rmaydi yoki umuman ko'rmaydi. Agar tovuq yoki kabutarning oldiga qip-qizil kiyinib borilsa, ular odamni yaxshi payqamay qoladi. Tovuuq va kabutarlarning qosh qoraya boshlashi bilanoq ko'rmay qoladi. Chunki, Quyosh botishi oldidan qizarganda, atmosferada boshqa nurlar yutilib, qizil nur yutilmasdan Yer sirtigacha yetib keladi. Quyosh botishi oldida qizarishining sababi ham ana shunda.

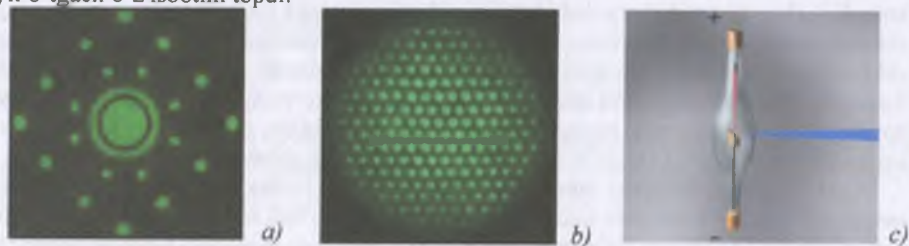
Agar termometr binafsha nurdan pastga tomon tutib turilsa, termometrning binafsha rangga tutilgandan ko'ra ham kuchsiz qizishiga guvoh bo'lish mumkin. Demak, binafsha nurdan quyida ko'zimizga ko'rinmas qandaydir nur bor ekan. Spektrda binafsha nurlardan keyin joylashgan, ko'zga ko'rinmaydigan nurlar ($0,05-0,4\text{ mkm}$) *ultrabinafsha nurlari* deyiladi. Ultrabinafsha nurlarning to'lqin uzunligi binafsha nurlarga nisbatan kichik, chastotasi esa katta bo'ladi. Bu nurlar inson miyasida ko'rish tuyg'usi hosil qilmaydi. Ultrabinafsha nurlarni lyuminessensiyalovchi modda qoplangan ekran yordami bilan payqash mumkin. Ekraning spektrning binafsha sohasidan narida yotgan nurlarga ro'para qismigina ko'k-yashil tusda yorug'lana boshlaydi. Ultrabinafsha nurlar ximiyaviy jihatdan juda aktiv bo'ladi. Ultrabinafsha nurlarga nisbatan fotoemulsiya juda yaxshi sezgir bo'ladi. Ultrabinafsha nurlar ko'zga ko'rinmasada, ular ko'zning to'r pardasiga va teriga kuchli ta'sir o'tkazadi. Shisha ultrabinafsha nurlarni ko'p yutganligi bois xatto oq shishali ko'zoynak ham ko'zni bu nurlardan asraydi. Ma'lum bir dozadagi ultrabinafsha nurlari sog'liq uchun foydali bo'lib, organizmning o'sishi hamda to'qimalarning chiniqishiga yordam beradi. Bu nurlar teriga ta'sir etib uni qoraytiradi.

Vodorod spektrining Layman seriyasidagi barcha nurlar hamda Balmer seriyasidagi 5-nurdan keyingilari ultrabinafsha sohada, Balmer seriyasining dastlabki to'rtta seriyasi ko'rinuvchi sohada, qolgan barcha seryadagi (Pashen, Breket, Pfund va boshqa seriyalar) nurlarning hammasi infraqizil sohada yotadi. Bu seriyalar haqida keyingi boblarda batafsil so'z yuritiladi.

Rentgen nurlari:

Ultrabinafsha va infraqizil nur haqida eshitmagan bo'lsa-da, lekin rentgen nurlari haqida hamma eshitgan. Bu nur yordamida suyak va bo'g'in tasvirlarini olish mumkinligini ham deyarli barchamiz bilamiz. Bu nur uchun zichligi uncha katta bo'lmagan noshaffof moddalar (teri va et, to'qimalar, qog'oz va b.) shaffof hisoblanadi. Bu moddalardan rentgen nuri xuddi yorug'lik shishadan o'tgani kabi o'tib ketadi.

To'liq uzunligi ($10^{-8} - 10^{-11} m$) oralig'ida bo'lgan to'liqlar **rentgen nurlari** deb ataladi. 1895-yil nemis fizigi Vilgelm Rentgen tomonidan kashf qilingan. Tez harakatlanuvchi elektronlarning metall yoki shisha plastinaga urilishidan hosil bo'ladi. O'sha paytlarda kichik bosim sharoitida gaz razryadini o'rganish katta ahamiyatga ega edi. Gaz nayidan juda tez o'tuvchi elektronlarni katod nurlari deb atalish odat tusiga kirgan edi. Katod nurlarini o'rganayotgan chog'i qora qog'ozga o'ralgan plyonka kuyib qolganiga guvoh bo'ldi. Bariy tetratsianopiatinit eritmasiga katod nurlari tushirilganda u shulalana boshladi. Rentgen ekranni qo'li bilan to'sganida ekranda qo'l va barmoq suyaklarini tasviriga ko'zi tushdi. Shunda Rengen bu yerda juda singuvchi ko'zga ko'rinmas nurlar borligini tushunib yetdi. Rengen bu nurlarni X -nurlar (noma'lum nurlar) deb atadi. Bu nurlarning to'liq uzunligi ultrabinafsha nurlarinikidan ham kichikroq bo'lsa kerak, ana shuning uchun ham rentgen nurlarining kiruvchanlik qobiliyati katta degan gipoteza tug'ildi. Lekin, bu gipoteza Vilgelm Rengen vafotidan 15 yil o'tgach o'z isbotini topdi.



51.1-rasm

Rengen nurlari havoni ionlantiradi, fotoplatinkaga ta'sir etadi, lekin, zichligi uncha katta bo'lmagan noshaffof moddalarda sinmadi va qaytmadi. Bu nurlar elektr va magnit maydonlariga kiritilganda hech qanday og'ish kuzatilmadi. Rentgen nurlari tibbiyotda suyak va bo'g'inlarni tekshirishda, kasallarga tashxis qo'yishda ishlatiladi. Rengen nurlarini elektromagnit to'liq ekanligini isbotlash uchun uni to'liq xossani namoyon qiluvchi difraksiya yoki interferensiya hodisalari namoyon bo'lish kerak edi. Lekin, uning to'liq uzunligi juda kichik bo'lgani bois bu o'lcham tartibidagi difraksion panjara yasashning imkoni yo'q edi. Dastlab qo'rg'oshin plastinkadagi juda tor tirqishlardan rentgen nurlari o'tazilganda hech qanday difraksiya hodisasi kuzatilmadi, ekanida interferensiyon manzara ham hosil bo'lmadi. Shunda nemis fizigi Maks Laue bu nurlar uchun jismlarning o'zi tabiiy holdagi difraksion panjara bo'lishi mumkinligi mumkinligi haqida o'yladi. Haqiqatan ham, rentgen nurlarining to'liq uzunligi atom o'lchami

Vilgelm Rentgenning asosiy ishlari atom fizikasi sohasida nurlanishlar va ularning tabiatini o'rganishga bag'ishlangan. U 1895yilda qisqa to'liqlik elektromagnit nurlarini – rentgen nurlarini kash etgan buyuk nemis fizigi hisoblanadi. Dastlab u bu nurni noma'lum ko'zga ko'rinmas X-nurlar deb atagan. Bu nurlarning kash etilishi fizikaning bundan keyingi taraqqiyotiga g'oyat katta ijobiy ta'sir ko'rsatdi, jumladan radioaktivlikning kashf etilishiga olib keldi. Rentgen o'z kashfiyotining meditsinada amaliy tadbiq etilishining tez tarqalishiga sabab bo'ldi. Rentgen nurlari olish uchun yasagan birinchi rentgen nayning konstruksiyasi hozirgi vaqtgacha asosan o'zgarishsiz saqlanib kelinmoqda. Vilgelm Rentgen ushbu ixtirosi uchun 1901-yilda Nobel mukofoti bilan taqdirlanadi.



Vilgelm Rentgen
(1845–1923)

tartibida va undan ham kichikroq bo'lgani uchun jismlarning o'zi bu nurlar uchun tabiiy holda fazoviy difraksiyon panjara rolini o'ynaydi (51.1-a,rasm). Undan tashqari rentgen nurlarini kristallardan o'tkazilganda hosil bo'ladigan difraksiyon manzaraga qarab atomlarning fazoda qanday joylashganligi va o'lchamlarini aniqlash mumkin (51.1-b,rasm). Rentgen nurlarini rentgen trubkalarida hosil qilinadi (51.1-c,rasm).

Elektr maydoni elektronga tezlatuvchi ta'sir ko'rsatadi. Elektronning erishgan kinetik energiyasi elektr maydonining elektronni tezlatishda bajargan ishiga teng, ya'ni $W_k = A$, bo'ladi. Bundan esa so'ralgan kattalikni aniqlashimiz mumkin bo'ladi.

$$\frac{m_e g^2}{2} = eU, \rightarrow g = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot U}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 5,93 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U} \text{ [m/s]}.$$

Demak, Rentgen trubkasida U potentsiallar farqini o'tgan elektronning elektr maydonida erishgan tezligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$g = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} \approx 5,93 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, 1V potentsiallar farqini o'tgan elektron 593 km/s tezlikka, 4 V potentsiallar farqini o'tgan elektron 2·593=1186 km/s tezlikka, 9V potentsiallar farqini o'tgan elektron 3·593=1779 km/s tezlikka erishar ekan.

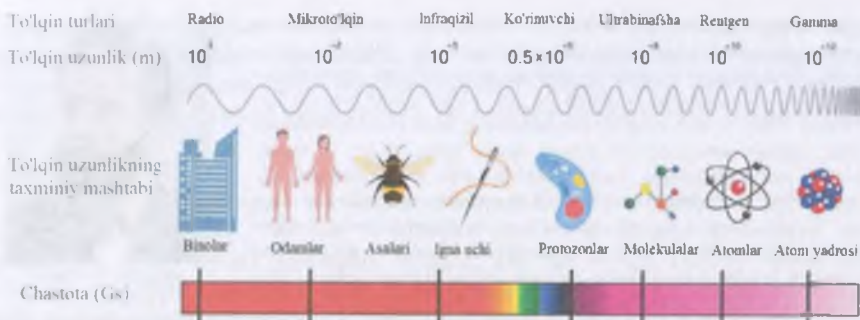
Elektromagnit to'liqlar shkalasi:

Biz shu paytgacha ko'rib o'tgan mexanik to'liqlardan tashqari barcha to'liqlar (radioto'liqlar, infraqizil nurlar, oq yorug'lik, ultrabinafsa nurlar, rentgen nurlari va gamma nurlar) elektromagnit to'liqlarini tashkil etadi. Elektromagnit to'liqlari zaryadli zarraning tebranishi tufayli paydo bo'lib, elektr zaryadining tebranish chastotasiga teng chastotadagi elektromagnit to'liqini tarqaladi. Undan tashqari atom va yadroning turli o'tishlarida ham elektromagnit to'liqlari nurlanadi.

Elektromagnit to'liqlar shkalasi to'liqin uzunligi kamayish tartibida yoki chastota oshishi tartibida quyidagi jadvalda va 51.2-rasmda berilgan:

51.1-jadval

	Radioto'liqlar	Infraqizil nurlar	Oq yorug'	Ultrabinafsa nurlar	Rentgen nurlari	Gamma nurlar
λ , [m]	$\lambda > 360 \cdot 10^{-6}$	$360 - 0,76 \cdot 10^{-6}$		$400 - 5 \cdot 10^{-9}$	$10^{-8} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-13}$
ν , [Gs]	$\nu < 8,33 \cdot 10^{11}$	$8,33 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{19}$
		$3,95 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{14}$	$6 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{19}$	$3 \cdot 10^{21}$



51.2-rasm

Radioto'liqlar tebranish konturlarida zaryadning tebranishidan hosil bo'ladi. Infraqizil nurlar har qanday qizigan jism sirtida tarqaladi undan tashqari mikroto'liqlik pechlar ham mikroto'liqlik infraqizil nurlar siqaradi. Infraqizil nurlar, oq yorug'lik va ultrabinafsha nurlar davriy sistemaning boshida joylashgan elementlarning atomidagi elektronlarning turli o'tishlarida hosil bo'ladi. Undan tashqari bu nurlar davriy sistemaning o'rtalarigacha bo'lgan elementlarining tashqi qobiqlaridagi elektronlarning o'tishlarida ham hosil bo'lishi mumkin. Rentgen nurlari davriy sistemaning o'rtasidan boshlab to oxirigacha bo'lgan elementlarining o'rta va ichki qobiqlaridagi elektronlarning turli o'tishlarida hosil bo'ladi. Rentgen nurlari ham o'z navbatida yumshoq, o'rta va qattiq rentgen nurlariga bo'linadi. Yumshoq rentgen nurlari qattiq ultrabinafsha nurlariga, qattiq rentgen nurlari esa γ -nurlariga tutashib ketadi. Nihoyat γ -nurlari barcha elementlarning yadrolaridagi nuklonlarning uyg'magan holatdan asosiy holatga o'tishlarida yoki α - va β -emirilishlarda hosil bo'ladi. Rentgen nurlarining energiyasi ko'rinuvchi nurlarnikidan $10^3 - 10^5$ marta katta bo'lsa, γ -nurlar energiyasi esa ko'rinuvchi nurlarnikidan $10^6 - 10^7$ marta katta bo'ladi. γ -nurlarning to'lain uzunliklari yadro o'lchami tartibiga yaqin bo'lgani uchun ularning kiruvchanlik qobiliyati nihoyatda kuchlik. Ular hatto qattiq jasmlar va metallardan ham xuddi yorug'lik nurlari shaffof muhitdan o'tgani kabi o'tib ketadi. γ -nurlariga faqat qalin qo'rg'oshin devor to'siq bo'lishi mumkin.

Elektromagnit nurlanish korpuskulyar va to'liq xususiyatlarining dielektrik birligi:

Optikaga oid hodisalarni o'rganish natijasida quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1) Absolyut qora jism nurlanish spektridagi energiya taqsimoti, fotoeffekt, Kompton effekti kabi hodisalar hodisalar yorug'likning kvant xususiyatlaridan dalolat beradi.

2) Yorug'lik interferensiyasi, difraksiyasi, dispersiyasi, qutblanish kabi hodisalar yorug'likning to'liq xususiyatlaridan dalolat beradi.

Bu ikki guruh hodisalarni tushuntirishda yorug'lik tabiatini aks ettiruvchi ikki nazariyadan, ya'ni yorug'likning to'liq va korpuskulyar nazariyalaridan foydalanildi. U holda "yorug'likning o'zi aslida nima, yorug'lik nazariyalarini bir-biriga zid nazariyalar asosida emas, balki bir zamonaviy nazariya asosida tushuntirishning iloji yo'qmi?" degan savol tug'iladi.

Bir-biriga yaqin joylashgan ikkita tirqishdan o'tayotgan yorug'lik ekranda navbatlashgan qorong'u va yorug' sohalar hosil qiladi. Buni to'liq nazariya juda yaxshi tushuntirib beradi. Lekin, kvant nazariya asosida tushuntirishning iloji yo'q. Shunga

o'xshash fotoeffekt va uning qizil chegarasini kvant nazariya tushuntirib bera oladi, ammo to'liq nazariya bunga ojizlik qiladi.

Demak, barcha optik hodisalarni faqat to'liq nazariya yoki faqat korpuskulyar nazariya asosida tushuntirib bo'lmaz ekan. Bu ikki nazariyaning qaysi biri haqida gap yuritsak ham, u bir guruh hodisalarni tushuntirishda muvaffaqiyatga erishadiyu, ammo ikkinchi guruh hodisalarni tushuntirishda ojizlik qiladi. Shuning uchun, qo'llanilayotgan ikki nazariyadan qaysi biri zamonaviyroq ekani haqida mulohaza yuritish o'rniga yorug'lik tabiati to'g'risidagi tasavvurlarimizni oydinlashtirib olganimiz ma'qulroqdir.

Ma'lumki, inson ongida muhit ta'siri tufayli dunyo manzarasi shakllanib, bir qator tasavvurlar sistemasi vujudga keladi. Masalan, "to'liq harakat" deganda suv sirtining to'liqlanishi yoki tarang tortilgan ipning tebranishlarini kuzatish natijasida vujudga kelgan taassurotlar ko'z o'ngimizda paydo bo'ladi. Lekin, inson sezgi organlari orqali qayd qilish tufayli vujudga kelgan tasavvurlarni mikroolamga har doim qo'llab bo'lmaydi. Umuman, o'lchash yoki tekshirishlar natijasida to'plangan axborotlar va farazlar asosida tekshirilayotgan buyum yoki hodisalarning ideallashtirilgan modeli hosil qilinadi. Har qanday model ob'ektiv tabiatni birinchi yaqinlashuvdagi ifodasidir. Shuning uchun ham yorug'likning to'liq modeli bir qator optik hodisalarni tushuntirishda katta yordam berdi. Ammo, ba'zi hollarda bu model noto'g'ri fikrga olib keladi. Buning ajablanarli joyi yo'q. Chunki, har qanday model barcha hollarda ob'ektni aynan aks ettira olmaydi-da. Shu kabi yorug'likning korpuskula modeli ham hamma vaqt qo'l kelavermaydi. Buning sababi shundaki, elektromagnit nurlanishi, aslida to'liq ham korpuskula ham emas.

Yorug'lik haqidagi axborotlarning aksariyati insonning bevosita sezgi organlari orqali emas, balki bilvosita maxsus qurilmalar orqali vujudga keladi. Yorug'lik ba'zi qurilmalarga to'liqiga o'xshash ta'sir qilsa, ba'zilariga korpuskulaga o'xshab ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun ham yorug'likning tajribalarda kuzatiladigan to'liq va korpuskulyar xususiyatlarini bir-biriga qarama-qarshi qo'yish kerak emas. Balki, yorug'lik bir vaqtning o'zida ikkala xususiyatga ham ega deb hisoblash kerak. Boshqacha aytganda, elektromagnit nurlanishda to'liq va korpuskulyar xususiyatlarning dielektrik birligi kuzatiladi. Biroq, bu xususiyatlar ma'lum bir qonuniyat asosida namoyon bo'ladi. to'liq uzunlik kamayishi bilan elektromagnit nurlanishning korpuskulyar xususiyatlari ko'proq namoyon bo'ladi. Aksincha, to'liq uzunlik ortishi bilan to'liq xususiyat yuzaga chiqqa boshlaydi.

Elektromagnit nurlanishda ikkala ikkala xususiyat bir vaqtda mavjud ekan, ular orasida bog'lanish ham bo'lishi kerak albatta. To'liq xususiyatidan foydalanib, intensivlik to'liq amplitudasining kvadratiga proporsional degan edik. Nurlanish – fotonlar oqimi deb hisoblaganda intensivlik fotonlar soniga teng edi. Demak, fotonning fazoning biror joyiga tushish ehtimolligi to'liq amplitudasining kvadratiga proporsionaldir.

Binobarin, elektromagnit to'liq fizik nuqtai nazardan real ob'ekt bo'lib, u to'liqiga ham, korpuskulaga ham o'xshamaydi. To'liq va korpuskula tasavvurlari hodisalarni talqin qilishda foydalanilgan modellar bo'lib, ular nurlanishning bir-biri bilan uzviy bog'langan turli xususiyatlarini aks ettirib, ba'zi sharoitlarda nurlanishning tabiati, asosan, korpuskulyar xususiyatlar bilan aniqlanib, to'liq xususiyatlar esa tekshirilayotgan hodisaning unchalik ahamiyatga ega bo'lmagan xislatlarini ifodalaydi. Boshqa xil sharoitlarda esa nurlanishning to'liq tabiati o'rganilayotgan hodisaning asosiy xislatlarini aniqlaydigan darajada katta ahamiyatga ega bo'ladi. Bu hollarda nurlanishning

korpuskulyar xususiyati hodisaning ikkinchi darajali xossalarini aniqlashga yordam beradi.



1. Elektromagnit to'liqlari qanday hosil qilinadi? Ular qanday to'liqin?
2. Elektromagnit to'liqlarini chastota oshish (yoki to'liqin uzunlik kamayish) tartibida sanab chiqing.
3. Infraqizil nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to'liqin uzunliklari qaysi oraliqda bo'ladi? Xossalarini atib bering.
4. Ultrabinafsha nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to'liqin uzunliklari qaysi oraliqda bo'ladi? Xossalarini atib bering.
5. Rentgen nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to'liqin uzunliklari qaysi oraliqda bo'ladi? Xossalarini atib bering.
6. γ -nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to'liqin uzunliklari qaysi oraliqda bo'ladi? Xossalarini atib bering.



IX BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Yorug'likning chastotasi ortganda metall sirtidan urib chiqarilayotgan fotoelektronlarning tezligi 1,5 marta ortdi. To'xtatuvchi potentsial qanday o'zgardi?

- A) 2,25 marta ortdi B) 1,5 marta kamaydi C) 1,5 marta ortdi.
D) 2,25 marta kamaydi E) o'zgarmadi.

Berilgan:

$$\frac{v_2}{v_1} = 1,5;$$

Yechish:

Katoddan uchib chiqqan elektronlarning tezligining ortishi ularning kinetik energiyasi ortishiga olib keladi. Ularni elektr maydon orqali tutish

$$\frac{v_2}{v_1} = ?$$

(to'xtatish) mumkin. yani $\frac{mv^2}{2} = Ue$ bundan $\frac{mv^2}{2e} = U$ demak elektronlarning tezligi 1,5 marta ortsa tutuvchi potentsial 2,25 marta ortadi.

Javob: B)

2. Muayyan metall uchun fotoeffektning qizil chegarasi 331 nm bolsa, fotoeffektning vujudga keltiruvchi foton energiyasining minimal qiymati qanday (eV)? $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s.

- A) 2,45 B) 2,6 C) 2,75 D) 3,75 E) 4,5

Berilgan:

$$\lambda_q = 331 \text{ nm};$$

Yechish:

Fotoeffekt sodir bo'lishi uchun tushayotgan yorug'lik energiyasi metaldan elektronning chiqish ishiga teng bo'lishi kerak. Demak

$$h\nu = ?$$

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_q} = 3,75 \text{ eV}$$

Javob: D)

3. To'liqin uzunligi necha mkm bolgan yorug'lik chiqish ishi $6,9 \cdot 10^{-19}$ J bolgan metallardan elektronlarni ajrata oladi? $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s.

- A) 0,29 B) 0,4 C) 0,55 D) 0,76 E) 1,9

Berilgan:

$$A = 6,9 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Yechish:

Fotoeffekt sodir bo'lishi uchun minimal to'liqin uzunlikka

$$\lambda_q = ?$$

fotoeffekt qizil chegarasi deyiladi. yani $h\nu = A$ bundan $\lambda_q = \frac{hc}{A} = 0,29 \text{ mkm}$

Javob: A)

4. Fotokatod monoxromatik yorug'lik bilan yoritilganda undan elektronlar urib chiqariladi. Yorug'likning chastotasi 2 marta kamayganda chiqayotgan elektronlarning maksimal kinetik energiyasi qanday o'zgaradi?

- A) o'zgarmaydi B) 2 martadan kam kamayadi

- C) 2 marta kamayadi D) 2 martadan ko'p kamayadi
E) 2 marta ortadi.

Berilgan:

$$\frac{v_2}{v_1} = 2$$

$$\frac{E_2}{E_1} = ?$$

Yechish:

Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi energiyani saqlanish qonuniga ko'ra $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ bundan elektronlarning kinetik energiyasi $E = h\nu - A$ ga teng. demak yorug'likning chastotasi 2 marta kamaysa elektronlarning kinetik energiyasi 2 martadan ko'p kamayadi

Javob: D)

5. Elektronlarning chiqish ishi $1,6 \text{ eV}$ bo'lgan metall plastina 3 eV energiyali fotonlar oqimi bilan uzoq vaqt yoritilganda, necha volt potentsialgacha zaryadlanadi?
A) 1,4. B) 1,6. C) 2,8. D) 3. E) 4,6.

Berilgan:

$$A = 1,6 \text{ eV}$$

$$h\nu = 3 \text{ eV}$$

$$U = ?$$

Yechish:

Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi ga ko'ra $h\nu = A + E$ bundan elektronlarning kinetik energiyasi $E = h\nu - A = 1,4 \text{ eV}$ ga teng. demak e kinetik energiya bilan elektr maydoda harakatlanganda $\frac{mv^2}{2} = eU$ potentsial energiyaga ham ega bo'ladi. Demak $U = \frac{mv^2}{2e} = \frac{E}{e} = 1,4 \text{ V}$

Javob: A)

6. To'lqin uzunligi 10^{-7} m bo'lgan fotonning energiyasi qanday (eV) bo'ladi? $h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.
A) 1 B) 2 C) 4 D) 8 E) 12

Berilgan:

$$h = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$$

$$\lambda = 10^{-7} \text{ m}$$

$$E = ?$$

Yechish:

Fotonning energiyasi $E = h\nu$ va elektromagnit nurlar uchun $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligini e'tiborga olsak

$$E = h \frac{c}{\lambda} = 12 \text{ eV} \text{ ga teng}$$

Javob: E)

7. To'lqin uzunligi $\lambda = 10^{-7} \text{ m}$ bo'lgan rentgen nurlanishi va $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ bo'lgan ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik fotonlari energiyalarining nisbati topilsin.

A) $4 \cdot 10^3$ B) $3 \cdot 10^4$ C) $2,5 \cdot 10^8$ D) 1836 E) 1

Berilgan:

$$\lambda_1 = 10^{-10} \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = ?$$

Yechish:

Fotonning energiyasi $E = h\nu$ va elektromagnit nurlar uchun $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligini e'tiborga olsak $E = h \frac{c}{\lambda}$ ga teng. Bundan $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 4000$ ga teng.

Javob: A)

8. To'lqin uzunligi 2 mkm bo'lgan nurlanish fotonining massasini toping (kg). $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
A) $1,1 \cdot 10^{-36}$ B) $2,2 \cdot 10^{-36}$ C) $6,6 \cdot 10^{-36}$ D) $1,1 \cdot 10^{-26}$ E) $3,3 \cdot 10^{-26}$

Berilgan:

$$\lambda = 2 \text{ mkm}$$

$$m_f = ?$$

Yechish:

Foton energiyasi $E = h\nu$ va Eynshteyn nazariyasi $E = m_f c^2$ ifodalarini umumlashtirib, $m_f = \frac{h\nu}{c^2}$ ifodaga ega bo'lamiz. Bunda $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligini e'tiborga olsak $m_f = \frac{h}{c\lambda} = 1,1 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$

Javob: A)



IX BOBGA DOIR TESTLAR

1. S. I. Vavilov quyidagi hodisalarning qaysi birini tadqiq qilgan?
A) issiqlik nurlanishi B) fotoluminestsensiya C) katod luminestsensiya.
D) xemiluminestsensiya E) elektr luminestsensiya
2. Quyida keltirilgan nurlanishlarning qaysi biri issiqlik nurlanishiga kiradi?
A) televizor ekranining nurlanishi B) qutb yog'dusi C) kunduzgi lampa nurlanishi
D) quyosh nurlanishi E) rentgen nurlanishi
3. Quyida keltirilgan jismlarning qaysi biri o'zidan elektromagnit to'lqin chiqarmaydir?
A) televizor B) elektr choynak C) metall stul D) yog'och stol E) TJY
4. Moddalar qanday holatda chiziqli spektrga ega bo'lgan yorug'lik chiqaradi?
A) hamma holatlarda B) hech qanday holatda C) kristall holatda
D) suyuq holatda E) siyraklashgan atomar gaz holatda.
5. Moddaning qanday holatida yo'l-yo'l spektr kuzatiladi?
A) molekulyar gaz holatida B) suyuq holatda C) qattiq va suyuq holatlarda.
D) qattiq holatda E) atomar gaz holatida
6. Anod kuchlanishi 100 kV bo'lgan rentgen trubkasi anodiga yetib borayotgan elektronlarning kinetik energiyasi qanday (eV)? Elektronlarning boshlang'ich tezligi nolga teng.
A) 10^2 B) 10^3 C) 10^4 D) 10^5 E) 0
7. Anod kuchlanishi 50 kV bo'lganda, rentgen trubkasi anodiga yetib borayotgan elektronlarning kinetik energiyasi necha joule bo'ladi?
A) $5 \cdot 10^{-15}$ B) $5 \cdot 10^{-14}$ C) $2,5 \cdot 10^{-15}$ D) $5 \cdot 10^{-14}$ E) $8 \cdot 10^{-15}$
8. Rentgen nurlari spektrining qisqa to'lqinlar tomonida keskin tugash chegarasi borligi quyidagilarning qaysi biriga bog'liq?
A) rentgen trubkasidagi elektronlar soniga B) katod moddasiga C) anod moddasiga
D) anod va katod orasidagi kuchlanishga E) anod va katod orasidagi tokka
9. Quyidagi nurlanishlarning qaysi biri eng kichik to'lqin uzunlikka ega?
A) ultrabinafsha nurlar B) radioto'lqinlar C) ko'rinvuchi yorug'lik.
D) rentgen nurlari E) infraqizil nurlar
10. Quyidagi nurlardan qaysi biri difraksiyalanadi:
1) ko'zga ko'rinadigan yorug'lik; 2) radioto'lqinlar; 3) rentgen nurlari; 4) infraqizil nurlar?
A) 1 B) 1, 2 C) 1, 2, 3 D) 1, 3, 4 E) 1, 2, 3, 4
12. Elektronning chiqish ishi $3 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ bo'lganmodda uchun fotoeffektning qizil chegarasi qananday (m)? $h=6,6 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$.
A) $6,6 \cdot 10^{-7}$ B) $6,6 \cdot 10^{-8}$ C) $3 \cdot 10^{-7}$ D) $6,6 \cdot 10^{-6}$ E) $3,3 \cdot 10^{-6}$
14. Fotoelement katodi v_1 chastotali monoxromatik yorug'lik bilan yoritilganda fotoelektronlarning eng katta kinetik energiyasi E_1 bo'lgan, $v_2 = 3v_1$ chastotali yorug'lik bilan yoritilganda esa E_2 bo'lgan. E_1 va E_2 o'zaro qanday munosabatda?
A) $E_2 > 3E_1$ B) $E_2 > 3E_1$ C) $E_2 > \sqrt{3}E_1$
D) $E_2 = 3E_1$ E) $E_2 < 3E_1$

15. Elektronning chiqish ishi 3 eV bo'lgan metallga energiyasi 5 eV bo'lgan foton tushganda, elektronlarning maksimal kinetik energiyasi qanday (eV) bo'ladi?
A) 0,6 B) 2 C) 3 D) 5 E) 8
16. Seziy katodga to'liq uzunligi 600 nm bo'lgan zarg'aldoq yorug'lik tushmoqda. Seziydan elektronning chiqish ishi $1,8 \text{ eV}$. Berkutuvchi potentsial qanday bo'lganda fototok to'xtaydi (V)?
 $h = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ s} \cdot \text{eV}$
A) 2,5 B) 1,8 C) 0,6 D) 0,3 E) 0,25
17. Volfram sirtiga to'liq uzunligi 220 nm bo'lgan yorug'lik tushmoqda. Agar volfram uchun chiqish ishi $4,50 \text{ eV}$ bo'lsa, uchib chiqqan elektronlarning. Eng katta tezligi qanday ($\frac{\text{km}}{\text{s}}$)? ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.)
A) 430 B) 6150 C) 3400 D) 4300 E) 630
18. Stronsiyni necha nm to'liq uzunlikdagi yorug'lik nuri bilan yoritilganda, undan uchib chiqqan elektronlarning maksimal kinetik energiyasi $1,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ bo'ladi? Stronsiy uchun fotoeffektning qizil chegarasi 550 nm .
A) 550 B) 250 C) 367 D) 130 E) 734
19. Vakuumdagi to'liq uzunligi 520 nm bo'lgan nurlanishda nechta fotonning energiyasi 1 mJ bo'ladi? Plank doimiysi $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
A) $78 \cdot 10^{14}$ B) $52 \cdot 10^{14}$ C) $13 \cdot 10^{14}$ D) $65 \cdot 10^{14}$ E) $26 \cdot 10^{14}$
20. Yorug'likning to'liq uzunligi 2 marta oshsa, uning fotoni energiyasi qanday o'zgaradi?
A) 2 marta kamayadi B) 2 marta ortadi C) o'zgarmaydi
D) 4 marta ortadi E) 4 marta kamayadi
21. To'liq uzunligi 220 nm bo'lgan fotonning massasi aniqlansin (kg), $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
A) $3 \cdot 10^{-36}$ B) $1,5 \cdot 10^{-36}$ C) $1,6 \cdot 10^{-36}$ D) $1 \cdot 10^{-35}$ E) $3,3 \cdot 10^{-35}$
22. Elektron-pozitron annigilatsiyasida ikkita bir xil -kvant hosil bo'ladi. Sodir bo'lgan nurlanishning to'liq uzunligi topilsin reaksiyagacha bo'lgan kinetik olinmasin. $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.
A) 240 B) 2,4 C) 24 D) 0,24 E) 0,024
23. Uchib ketayotgan elektronga $0,18 \text{ nm}$ uzunlikdagi to'liq mos keladi. Elektronning impulsi qanday ($\text{kg} \cdot \text{m/s}$)?
A) $3,1 \cdot 10^{-25}$ B) $11,3 \cdot 10^{-25}$ C) $21,6 \cdot 10^{-25}$ D) $36,8 \cdot 10^{-25}$ E) TJY
24. Impulsi $3 \cdot 10^{-27} \text{ N} \cdot \text{s}$ bo'lgan ultrabinafsha nurlanishning to'liq uzunligi qanday (nm)? $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
A) 220 B) 300 C) 410 D) 555 E) 760
25. Agar quvvati 450 W bo'lgan yorug'lik manbaidan har sekundda 10^{21} ta foton uchib chiqayotgan bo'lsa, chiqayotgan yorug'likning to'liq uzunligi qanday (nm) bo'ladi? $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
A) 150 B) 330 C) 442 D) 550 E) 663
26. Quvvati 50 W bo'lgan yorug'lik manbai har 2 s da o'rtacha $2,5 \cdot 10^{20}$ ta foton chiqaradi. Nurlanishning o'rtacha to'liq uzunligi qanday (mkm).
A) 0,25 B) 0,5 C) 0,6 D) 1 E) 1,25



IX BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Rentgen trubkasidan nurlanayotgan rentgen nurlanishining minimal to'liqin uzunligi $3,1 \cdot 10^{-11}$ m bo'lsa, trubkaga ulangan kuchlanish qanday (kV)? $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s.
2. Rentgen trubkasiga 30 kV kuchlanish berilgan. Uzlüksiz rentgen spektrining qisqa to'liqin chegarasi topilsin (m). $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s.
3. 50 kV kuchlanishda ishlayotgan rentgen trubkasining anodiga elektronlar qanday tezlik bilan etib boradi (Mm/s)?
4. Chastotasi $1,5 \cdot 10^{15}$ Hz bo'lgan yorug'lik ta'sirida moddadan uchib iqayotgan fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi $3,3 \cdot 10^{-19}$ J ekanligini bilgan holda, shu modda uchun fotoeffektning qizil chegarasini toping (Hz). $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s.
5. Kumush uchun fotoeffektning uzun to'liqin (qizil) chegarasi $0,29$ mkm. Chiqish ishini aniqlang (eV).
6. Fotoeffektning qizil chegarasi 10^{15} Hz bo'lgan moddadan chastotasi $1,5 \cdot 10^{15}$ Hz bo'lgan yorug'lik ta'sirida fotoelektronlar uchib chiqmoqda. Ularning maksimal kinetik energiyasi qanaay (J)?
7. Agar moddaga tushayotgan yorug'lik chastotasi $5 \cdot 10^{14}$ Hz, urib chiqarilayotgan fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi $1,7 \cdot 10^{-19}$ J bo'lsa, fotoelektronlarning shu moddadan chiqish ishi qanday (J)? $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s.
8. Kumushga tushayotgan nurlarning chastotasi $3 \cdot 10^{15}$ Hz bo'lsa, fotoelektronlarning tezligi qanday (m/s) bo'ladi? $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, $A = 4,3$ eV.
9. To'liqin uzunligi qanday bo'lgan yorug'lik platinadan fotoelektronlarni $1,6 \cdot 10^6$ m/s tezlik bilan ajratib chiqaradi? ($A = 5,3$ eV).
10. Litiydan uzilib chiqqan fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi $1,74$ eV bo'lishi uchun u qanday chastotali (Hz) yorug'lik bilan yoritilishi kerak? $A = 2,4$ eV.
11. Fotonning massasi tinch turgan elektron massasiga teng bo'lishi uchun, u necha MeV energiyaga ega bo'lishi kerak? $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $m = 9 \cdot 10^{-31}$ kg, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.
12. Atom chastotasi $3,2 \cdot 10^{16}$ Hz bo'lgan nurlanish kvantini yutganda, atomning energiyasi necha eV ga o'zgaradi? $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s; 1 eV $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ J.
13. Agar chastotasi $3,4 \cdot 10^{15}$ Hz bo'lgan nurlar kislorod atomlarini ionlashtirishi mumkin bo'lgan eng kichik chastotali nurlar bo'lsa, atomlarni ionlashtirish energiyasi qanday? $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s.
14. To'liqin uzunligi 662 nm bo'lgan qizil nurlanishning necnta kvanti 1 g massaga ega bo'ladi? $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s.
15. Fotonning impulsi $3,31 \cdot 10^{-27}$ kg·m/s bo'lsa, unga mos keladigan to'liqin uzunligi qanday (nm)? $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s.
16. $6,62 \cdot 10^{-7}$ m to'liqin uzunlikda ishlayotgan lazer yorug'lik dastasining quvvati $0,1$ W. Lazer 3 s da nechta foton nurlaydi? $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s.
17. Pechdagi $6,1$ sm² o'lchamli teshikdan 1 s da $8,28$ kal energiya nurlanadigan bo'lsa, pechning temperaturasi qancha? Nurlanish absalyut qora jismga yaqin deb hisoblansin.
18. Quyosh 1 min da qancha energiya chiqaradi? Quyosh nurlanishini absalyut qora jismga yaqin deb hisoblansin. Quyosh sirtining temperaturasi 5800 K deb qabul qiling.

19. Qotayotgan 1m^2 qo'rg'oshin sirtidan 1s da qancha energiya nurlanadi? Qo'rg'oshinning erish temperaturasi 327°C . Mazkur temperaturada qo'rg'oshinning nur yutish qobiliyati $0,6$ ga teng deb oling.
20. Absolyut qora jism nurlanish quvvati 34kVt . Jism sirti $0,6\text{m}^2$ bo'lsa, uning temperaturasini aniqlang.
21. Agar absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining maksimumiga mos keluvchi to'lqin uzunlik 484nm bo'lsa, absolyut qora jismning 1sm^2 sirtidan 1s da qancha energiya chiqishini toping.
22. Absolyut qora jismning nurlanish quvvati 1GVt . Agar nur chiqarish qobiliyatining maksimumiga mos keluvchi to'lqin uzunlik 700nm bo'lsa, jismning nur sochuvchi sirti kattaligini aniqlang.
23. Harorati 20°C bo'lgan xonada turgan 10sm radiusli absalyur qora shar nurlanishining quvvatini toping.
24. Absalyut qora jismning harorati 727°C dan 1727°C gacha orttirildi. Bunda jism nurlantirayotgan energiya necha marta ortadi?
25. Absalyut qora jismning harorati 127°C . Harorat orttirilgandan so'ng nurlanishning umumiy quvvati 3 marta ortadi. Bunda harorat qanchaga ortgan?
26. To'lqin uzunligi $56,3\text{pm}$ bo'lgan rentgen nurlari grafit taxtachasida sochiladi. Rentgen nurlarining boshlang'ich yo'nalishga nisbatan 120° burchak ostida sochilgan nurlarning to'lqin uzunligini toping.
27. To'lqin uzunligi $2,7\text{pm}$ bo'lgan γ -nurlar Komton effekti tufayli sochiladi. Boshlang'ich yo'nalishiga 180° burchak ostida sochilgan nurlanishning to'lqin uzunligi tushayotgan nurlanishning to'lqin uzunligidan necha marta katta bo'ladi?

Ushbu bo'limda bir ISSdan boshqa ISSga o'tganda almashtirishlar hamda almashtirishlardan kelib chiqadigan natijalar, koordanata vaqt hamda mexanik kattaliklar qanday o'zgarishi ko'rib chiqiladi. Almashtirishlar ikki xil bo'lib, ulardan birinchisi past tezliklar uchun, ikkinchisi esa yuqori tezliklar uchun koordinata va vaqtni orasida bog'lanishni ifodalaydigan almashtirishlardir. Undan tashqari past tezliklar va katta tezliklar uchun nisbiylik prinsiplari, mexanik kattaliklarning tezlikka bog'liqligi hamda klassik mexanika relyativistik mexanikaning past tezliklar uchun o'rinli bo'lgan xususiy holi ekanligi tushuntiriladi.



§ 52. GALILEY ALMASHTIRISHLARI VA UNDAN KELIB CHIQUADIGAN NATIJALAR.

Galileyning nisbiylik prinsipi:

Kishilikning fazo va vaqt to'g'risidagi tasavvurlari uning butun rivojlanish tarixi davomida, kundalik tajribalar hamda kuzatishlari asosida shakllangan. Insoniyat tarixida birinchi bo'lib I.Nyuton absalyut vaqt va absalyut fazo tushunchalarini kiritdi. Unga ko'ra fazo o'zicha alohida, mustaqil holatda ya'ni, absalyut holatda mavjud bo'lib, u uch o'qli koordinatalardan tashkil topadi. Vaqt ham o'zicha alohida, mutaqil holatda, ya'ni absalyut holatda mavjud bo'lib, u bir o'qlidir. Boshqacha aytganda, vaqt o'tmishdan kelajakka tomon boruvchi hamda orqaga qaytmalik xususiyatga ega. Fazo va vaqt ayri-ayri holatda mavjuddir va ular o'rtasida hech qanday bog'liqlik yo'qdir. Fazo vaqtning o'tish maromiga ta'sir ko'rsatmaydi va aksincha, vaqt o'tishi fazoga bog'liq emas. Undan tashqari vaqt o'tish maromi har qaysi vaqtda va fazoning har qaysi nuqtasida bir xildir, ya'ni vaqt bir jinslidir. Xuddi shuningdek, fazo ham bir jinsli va izotropik xususiyatga ega, ya'ni fazoning har bir nuqtasi biri-biriga o'rin almashinuvchan, muqobil hamda fazoning barcha yo'nalishlarining xususiyatlari birday.

Shunday qilib, Nyuton mexanikasi vaqt absalyut, vaqt bir jinsli deb, fazo ham absalyut, fazo bir jinsli va izotropik deb hisoblaydi.

Bir inersial sanoq sistemasi (ISS)dan boshqa ISSga o'tganda biror mexanik kattalikni ifodalovchi formula o'z ko'rinishini o'zgartiradimi yoki saqlab qoladimi degan savol qiziqarli edi. Agar to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotgan kema kayutasi ichida biror mexanik tajriba o'tkazilsa, tajriba natijasi xuddi Yerdagi kabi bir xil bo'ladimi yoki boshqacharoq natija chiqadimi? Galiley tomonidan ko'plab o'tkazilgan tajriba natijalari ISSning harakatlanayotgani yoki tinch turganiga bog'liq emasligini ko'rsatdi, ya'ni aynan bir xil sharoit yaratilganda ayni bir tajriba natijalari barcha ISSlarda bir xil chiqdi. Masalan, kema kayutasi ichida biror h balandlikdan tashlangan jismning tushish vaqti $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ formula natijasi bilan bir xil yoki kema kayutasi ichidagi matematik mayatnikning

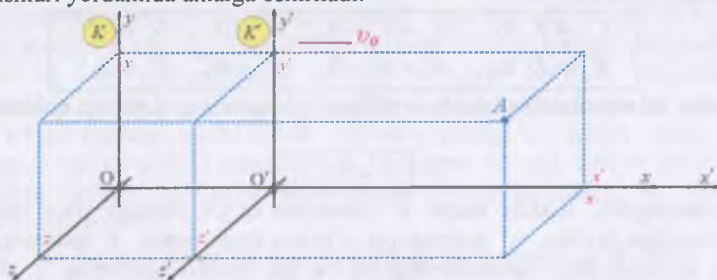
tebranish davri $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ formula natijasi bilan bir xil chiqdi. Demak, bir ISSdan boshqa

ISSga o'tganda biror mexanik kattalikni aniqlaydigan qonun yoki formula o'z ko'rinishini saqlab qolar ekan. O'tkazilgan tajriba natijasi bir xil bo'lgani uchun kema harakatlanayotgani yoki tinch turganini payqab bo'lmas ekan. Ushbu aytilgan fikrlar Galileyning nisbiylik prinsipi bo'lib, u quyidagicha ta'riflanadi:

Barcha mexanik hodisalar barcha ISSlarda bir xilda ro'y beradi, biror kattalikni aniqlaydigan formula ko'rinishi o'zgarmaydi, barcha ISSlar teng huquqli. ISS harakatlanayotgani yoki tinch turganini ISS ichida o'tkazilgan hech bir mexanik tajriba yordamida aniqlab bo'lmaydi.

Galiley almashtirishlari:

Bir ISSdan ikkinchi ISSga o'tish qoidalari odatda koordinata va vaqt uchun almashtirish formulalari bilan amalga oshiriladi. Agar korrdinata sistemalari qo'zg'almas bo'lsa, koordinatalar oddiy geometrik qoidalar asosida hisoblanadi. Koordinata sistemalari bir-biriga nisbatan harakatlanganda esa ISSdagi koordinatalar vaqt bo'yicha o'zgarib turadi. Bu holatda koordinatalarni aniqlash klassik mexanikada almashtirishlari yordamida, relyativistik (katta tezliklar) mexanikada esa Lorents almashtirishlari yordamida amalga oshiriladi.



52.1-rasm

Aytaylik, ixtiyoriy K va K' ISSlar berilgan bo'lib, ulardan birinchisi Yerga nisbatan tinch bo'lib, ikkinchisi esa birinchisiga nisbatan ixtiyoriy yo'nalishda (oson bo'lishi uchun Ox o'qi yo'nalishida) ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin (52.1-rasm). Boshlang'ich ($t=0$) vaqtda bu sistemalarning boshi ustma-ust tushsin. Vaqt absalyut bo'lgani uchun ixtiyoriy vaqt onida ham K va K' sistemalarida soatlarning ko'rsatishlari bir xil, ya'ni $t=t'$ bo'ladi. K' sistemada ixtiyoriy t' paytda x' koordinatada turgan jismning K sistemadagi koordinatasi $x=x'+\vartheta_0 t'$ bo'ladi. Chunki, t vaqtda K sistema K' sistemaga nisbatan $\vartheta_0 t$ masofaga siljiydi. Xuddi shuningdek, K' sistemadan K sistemaga o'tganda koordinatalar orsidagi bog'lanish $x'=x-\vartheta_0 t$ bo'ladi. Harakat faqat Ox o'qida sodir bo'lgani uchun qolgan ikkita o'qdagi koordinatalar vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi, ya'ni $\begin{cases} y=y', & z=z' \\ y'=y, & z'=z \end{cases}$ bo'ladi.

Bir ISSdan boshqa ISSga o'tganda koordinata va sistemalardagi kechadigan vaqtlar orasidagi Galiley almashtirishlarini umumlashtirib quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} K' \rightarrow K \text{ da, } & x = x' + \vartheta_0 t, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t' \\ K \rightarrow K' \text{ da, } & x' = x - \vartheta_0 t, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t \end{aligned}$$

Galiley almashtirishlari yorug'lik tezligiga nisbatan juda past tezliklar uchun o'rinnidir. K va K' ISSlarda sinxronlashgan soatlarning ko'rsatishlari har doim bir xil, ya'ni K sistemaning sanoq boshiga qo'yilgan soat ko'rsatishi bo'yicha K' sistemadagi vaqtni ham aytib berish mumkin. Sanoq sistemalarining ixtiyoriy nuqtalaridagi vaqtlar ham har doim birday bo'ladi. Shuning uchun ikkala sistemadagi soat ko'rsatishlari $t=t'$ bo'ladi. Shuni ham esdatib o'tisho' kerakki, galiley almashtirishlari faqatgina klassik

mexanika qonunlari uchun o'rinlidir. Klassik mexanika qonunlari esa yorug'lik tezligidan juda past tezliklar bilan sodir bo'ladigan harakatlardagina to'la bajariladi. Katta tezliklarda esa ($\beta \sim c$) Nyuton mexanikasi qonunlaridan chetlanishlar kuzatiladi. Bunda fazo va vaqt to'g'risidagi kundalik tasavvurlarimizni o'zgartirishimizga to'g'ri keladi.

Galiley almashtirishlaridan kelib chiqadigan natijalar:

Galiley almashtirish formulalaridan foydalanib klassik mexanikadagi tezliklarni qo'shish formulalarini keltirib chiqarish mumkin bo'ladi. Aytaylik moddiy nuqta K' sistemada to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan bo'lsin. K' sistemaning o'zi esa tinch turgan K sistemaga nisbatan harakatlanayotgani uchun moddiy nuqtaning K sistemadagi tezligini topish uchun har ikkala tezlikni hisobga olish kerak bo'ladi. Moddiy nuqtaning K sistemadagi tezligini aniqlash uchun yuqoridagi Galiley almashtirishlaridan vaqt bo'yicha hosila olish kifoya.

$$\begin{aligned} K' \rightarrow K \partial a, \quad \mathcal{V}_x &= \mathcal{V}'_x + \mathcal{V}_0, \quad \mathcal{V}_y = \mathcal{V}'_y, \quad \mathcal{V}_z = \mathcal{V}'_z \\ K \rightarrow K' \partial a, \quad \mathcal{V}'_x &= \mathcal{V}_x - \mathcal{V}_0, \quad \mathcal{V}'_y = \mathcal{V}_y, \quad \mathcal{V}'_z = \mathcal{V}_z \end{aligned}$$

Yuqoridagi formuladan foydalanib tezliklarni qo'shishning quyidagi qoidasini yozsak bo'ladi:

$$\vec{\mathcal{V}} = \vec{\mathcal{V}}' + \vec{\mathcal{V}}_0$$

Xuddi shuningdek, moddiy nuqta K' sistemada to'g'ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan bo'lsin. K' sistemaning o'zi esa tinch turgan K sistemaga nisbatan o'zgaras tezlanish bilan harakatlanayotgan bo'lsa, moddiy nuqtaning K sistemadagi natijaviy tezlanishini topish uchun Galiley almashtirishlaridan vaqt bo'yicha 2-tartibli hosila olish etarli bo'ladi.

$$\begin{aligned} K' \rightarrow K \partial a, \quad a_x &= a'_x + a_0, \quad a_y = a'_y, \quad a_z = a'_z \\ K \rightarrow K' \partial a, \quad a'_x &= a_x - a_0, \quad a'_y = a_y, \quad a'_z = a_z \end{aligned}$$

Yuqoridagi formuladan foydalanib tezlanishlarni qo'shishning quyidagi qoidasini yozsak bo'ladi:

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0$$

Bulardan tashqari K va K' sistemalarda o'lchangan uzunlik, vaqt oraliqlari va massalar bir xil bo'ladi.

$$\ell = \ell', \quad t = t', \quad m = m'$$

Galiley almashtirishlari bir ISSdan boshqa ISSga o'tganda mexanik kattaliklar o'zaro qanday munosabatda bo'lishini juda yaxshi tushuntirib berdi. Faqat shuni eslatish kerakki, bu shartlar yorug'lik tezligidan juda kichik tezliklarda bajariladi. Yorug'lik tezligiga yaqin tezliklarda esa fazo va vaqt haqidagi klassik tasavvurlarimizni qayta ko'rib chiqish kerak bo'ladi.



1. Galileyning nisbiylik nazariyasini aytib bering. Bunda fazo va vaqt qanday qaraladi?
2. Galileyning nisbiylik nazariyasi qanday sanoq sistemalari va qanday tezliklar uchun o'rinli?
3. Galiley almashtirishlarini yozing.
4. Galiley almashtirishlarida tezlik va tezlanishlar qanday qo'shiladi?
5. Galileyning nisbiylik nazariyasida kuch nisbiy kattalikmi? Impuls-chi?



§ 53. EFIR GIPOTEZASINING MUVFFAQIYATSIZLIGI. NISBIYLIK NAZARIYASINING POSTULATLARI. LORENTS ALMASHTIRISHLARI

Efir gipotezasininng muvaffaqiyatsizligi:

Galiley almashtirishlariga ko'ra ISSning harakat tezligini hech bir mexanik tajribalar natijasida aniqlab bo'lmaydi. Shunday ekan, buni optik hodisalar yordamida aniqlab bo'lmasmikan degan savol tug'ildi. XIX asrning oxirlarida ana shunga A.Maykelson va E.Morli tomonidan urinib ko'rildi.

Ular quyidagicha fikr yuritishdi: Agar olam efiri Quyoshga nisbatan tinch deb qarasa, Yerning Quyosh atrofidagi harakatida bir vaqtda efirga nisbatan harakatini ham beradi. Yer Quyosh atrofida yillik aylanma harakat qilgani uchun Yer sirtida yorug'lik nurining tarqalish tezligi turlicha bo'lish kerak. Yorug'likning Yer orbitasi bo'ylab va orbitagaga perpendikulyar yo'nalishdagi tarqalish tezliklari turlicha bo'lishi kerak va ana shu farqga asoslanib Yerning olam efiriga nisbatan harakat tezligini aniqlash mumkin. Maykelson va Morli yorug'likning bu ikki yo'nalish bo'yicha tarqalish tezligini interferensiya natijasiga ko'ra taqqoslashdi. Tajribalar juda ko'p martalab takrorlandi va har safar bir xil natijaga ega bo'lishdi. Tajribalar yilning har faslida (bahor, yoz, kuz, qish), kunning har xil paytlari (ertalab, tush, kechqurun va tun), turli yo'nalishlarda (Yer orbitasi bilan turlicha burchaklar hosil qilib) takrorlandi. Lekin, har safar bir xil $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ javob olindi.

Demak, Yer harakati yorug'lik nuri tarqalishiga hech qanday ta'sir etmas ekan. Hech qanday efir shamoli qayd etilmadi. Buni xuddi 120 km/soat tezlikda ketayotgan yo'lovchi mashina oynasidan boshini chiqarsayu, lekin hech qanday shamolni sezmagandek tushunish mumkin. Bundan tashqari efir va yorug'lik tezligini aniqlash bo'yicha Lorens, Gers, Fizo, Bredli, Rits kabi olimlar bir qator tajribalar o'tkazdi. Tajriba natijalariga ko'ra hech qanday efir shamoli aniqlanmadi. Efir gipotezasi olimlar tomonidan rad etildi.

Nisbiylik nazariyasining postulatleri:

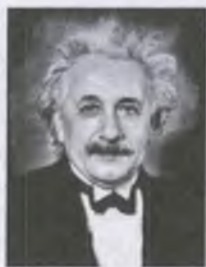
Relyativistik mexanikaning asosini A.Eynteyn tomonidan 1905-yilda yaratilgan maxsus nisbiylik nazariyasi (MNN) tashkil qiladi va u asosan kuchsiz gravitatsion maydonlar uchun fazo va vaqt haqidagi fizik nazariya hisoblanadi. Bu nazariya Nyuton mexanikasining barcha tasavvurlarini, ayniqsa fazo va vaqt haqidagi tasavvurlarni qayta ko'rib chiqishni taqozo etdi. MNN fizik hodisa qonuniyatlarini faqatgina ISSda o'rganadi.

A.Eynshaynning maxsus nisbiylik nazariyasi quyidagi ikkita postulatga (prinsipga) asoslangan: 1) nisbiylik prinsipi; 2) yorug'lik tezligining o'zgarmaslik prinsipi.

1-postulat: Tabiatdagi barcha protsesslar har qanday inersial sanoq sistemasida bir xilda yuz beradi.

Bu degan so'z fizika qonunlari (biror qonuniyatni tavsiflovchi tenglamalar) barcha inersial sanoq sistemalarda bir xil shaklda bo'ladi demakdir. Fizik jarayonlarning sodir bo'lish qonun (formula) lariga tezlik ta'sir qilmaydi. Masalan, tinch turgan ISS uchun tezlik $g = \frac{s}{t}$ zichlik $\rho = \frac{m}{V}$, tok kuchi $I = \frac{q}{t}$, fokus masofasi $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ formulalar yordamida aniqlansa, harakatlanayotgan ISS uchun ham tezlik $g = \frac{s}{t}$ zichlik $\rho = \frac{m}{V}$, tok kuchi $I = \frac{q}{t}$, fokus masofasi $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ formulalar yordamida aniqlanadi. Kattalaikni aniqlaydigan

Albert Eynshteyn 1879-yilda Syurrix shahrida tug'ilgan. U XX asrning buyuk, dahio fizigidir. Eynshteyn fazo hamda vaqt to'g'risidagi ta'limotni yaratdi. U 1905-yilda maxsus nisbiylik nazariyasiga, 1916-yilda esa umumiy nisbiylik nazariyasiga asos soladi. U yorug'likni porsiya-porsiya tarzida nurlanadi, tarqaladi va yutiladi degan g'oyani ilgari surgan. Eynshteynning broun harakati nazariyasiga oid ishlari modda tuzilishining molekulyar-kinetik nazariyasining uzil-kesil g'alaba qilishiga olib keldi. U de-Broylning zarradagi to'lqinsimonlik g'oyasini elektronlarda difraksiya kuzatilisiga to'g'ri deb aytdi. Eynshteyn fotoeffektga energiyaning saqlanish qonunini qo'llaydi va o'z tenglamasini yozadi. Unga 1921-yilda fotoeffekt hodisasi uchun Nobel mukofoti berishadi. U yadro va elementar zarralar fizikasi sohasida ham ko'plab ilmiy ishlar olib borgan. Jumladan u atom bombasi asoschilaridan biri hisoblanadi. Eynshteyn 1955-yilda AQShda vafot etgan.



Albert Eynshteyn
(1879–1955)

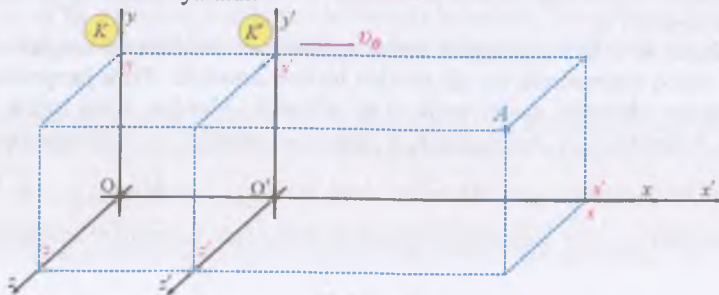
formula ko'rinishi o'zgaraydi. Boshqacha aytganda, qonunlar ISSlariga nisbatan invariantdir. Galiley ushbu prinsipni faqat mexanik hodisalarga taalluqli degan bo'lsa, Eynshteyn esa ushbu prinsip barcha tabiat hodisalariga taalluqlidir deya ta'kidlagan.

2-postulat: Yorug'likning vakuumdagi tezligi barcha inersial sanoq sistemalari uchun bir xildir. U manhaning tezligiga ham yorug'lik tezligini qabul qilgichning tezligiga ham bog'liq emas.

Bu ikki postulat juda ko'plab o'tkazilgan tajribalarda o'z isbotini topdi. Masalan, Fizo tajribalarida yorug'lik tezligi yorug'lik tarqalayotgan muhitning tezligiga bog'liq emasligini ko'rsatgan bo'lsa, Maykelson va Morli tajribalari esa yorug'lik tezligi o'z manbasining tezligiga bog'liq bo'lmasligini ko'rsatdi. Massa markazi atrofida katta tezlikda aylanayotgan qo'shaloq yulduz harakatini o'rganish va boshqa tajriba natijalari yorug'lik tezligi na yorug'lik manbasining va na kuzatuvchining tezligiga bog'liq emasligini isbotladi. Shuningdek, yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi tabiatdagi tezliklar ichida eng kattasi bo'lib uning qiymati $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/cga}$ teng. Har qanday ta'sirning uzatilish tezligi yorug'likning bo'shliqdagi tezligidan katta bo'lishi mumkin emas.

Lorents almashtirishlari:

Lorents almashtirishlaridabir inersial sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tganda x, y, z koordinatalar bilan bir qatorda vaqt ham o'zgaruvchan kattalik deb qaraladi. Agar Yerga bog'langan ISSda fazo va vaqt x, y, z, t bilan belgilansa, bu nisbatan ilgari lanma harakat qilayotgan boshqa ISSda fazo va vaqt x', y', z', t' bilan belgilanadi. Bu ISSlarida vaqtlar birday bo'lmaydi, ya'ni $t \neq t'$ bo'ladi. Lorents Galiley almashtirishlariga tuzatma kiritish orqali o'z almashtirishlarini yaratdi.



53.1-rasm

K va K' inersial sanoq sistemalari berilgan bo'lsin. K' sistema K sistemaga nisbatan ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, ixtiyoriy A nuqtaning K va K' sistemalaridagi holatlari va sistemalardagi kechadigan vaqtlar orasidagi Lorents almashtirishlari quyidagicha bo'ladi (53.1-rasm):

$$\begin{aligned} K' \rightarrow K \text{ da, } x &= \frac{x' + \vartheta_0 t'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}, & y &= y', & z &= z', & t &= \frac{t' + \frac{\vartheta_0}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}} \\ K \rightarrow K' \text{ da, } x' &= \frac{x - \vartheta_0 t}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}, & y' &= y, & z' &= z, & t' &= \frac{t - \frac{\vartheta_0}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}} \end{aligned}$$

Isboti: Lorents Galiley almashtirishlariga γ tuzatma kiritdi. Unga ko'ra bir ISSdan 2-siga o'tganda koordinatalar

$$\begin{cases} x = \gamma(x' + \vartheta_0 \cdot t') \\ x' = \gamma(x - \vartheta_0 \cdot t) \end{cases}$$

bo'ladi. Sistemadagi tenglamalarni bir-biriga ko'paytirib,

$$xx' = \gamma^2 (x' + \vartheta_0 \cdot t')(x - \vartheta_0 \cdot t)$$

ni hosil qilamiz. Agar $\begin{cases} x = ct \\ x' = ct' \end{cases}$ ekanini e'tiborga olsak,

$$c^2 t t' = \gamma^2 (ct' + \vartheta_0 t)(ct - \vartheta_0 t), \rightarrow c^2 t t' = \gamma^2 (c + \vartheta_0)(c - \vartheta_0) t t', \rightarrow c^2 = \gamma^2 (c^2 - \vartheta_0^2)$$

kelib chiqadi. Bundan

$$\gamma = \frac{c}{\sqrt{c^2 - \vartheta_0^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

kelib chiqadi. Demak, Lorents almashtirishlariga ko'ra koordinataning ko'rinishi K sistemadan K' sistemaga o'tilganda

$$x = \gamma(x' + \vartheta_0 \cdot t') = \frac{x' + \vartheta_0 \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

ko'rinishni, K' sistemadan K sistemaga o'tilganda esa

$$x' = \gamma(x - \vartheta_0 \cdot t) = \frac{x - \vartheta_0 \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

ko'rinishni olar ekan. Endi $\beta = \frac{\vartheta_0}{c}$ deb belgilash kiritib koordinatalar bog'langan formulani davom ettiraylik. Bunda sanoq sistemalaridan bir-biriga o'tganda vaqtlar orasidagi bog'lanishni ifodalovchi formulani topamiz.

$$\begin{aligned} x &= \frac{x' + \vartheta_0 t'}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} (x' + \vartheta_0 t') = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(\frac{x - \vartheta_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}} + \vartheta_0 t' \right), \rightarrow x(1 - \beta^2) = x - \vartheta_0 t + \vartheta_0 t'(1 - \beta^2), \rightarrow x - x\beta^2 = x - \vartheta_0 t + \vartheta_0 t', \rightarrow \\ \rightarrow t' &= \frac{\vartheta_0 t - x\beta^2}{\vartheta_0 \sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{t - \frac{x\beta^2}{\vartheta_0}}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \end{aligned}$$

Shunday qilib K sistemadan K' sistemaga o'tilganda vaqtlar orasidagi bog'lanish

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

ko'rinishda bo'lar ekan. Agar K' sistemadan K sistemaga o'tilsa, bu bog'lanish

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

ko'rinishni oladi. Ikki sistemadan biridan ikkinchisiga o'tilganda qolgan ikkita koordinatalar orasidagi bog'lanish

$$\begin{cases} y = y', & z = z' \\ y' = y, & z' = z \end{cases}$$

ko'rinishda bo'ladi. Chunki, bu o'qlarda harakat sodir bo'lmaydi. Lorens formulalari to'la isbotlandi.

Ushbu almashtirishlarni Daniyalik olim L.Lorenz (1829 - 1891) emas, gollandiyalik olim H.Lorentz (1853 - 1928) tomonidan 1904-yilda keltirib chiqarilgan.

Demak, yuqoridagi formulalardan ko'rinish turibdiki, ushbu almashtirishlarida Galiley almashtirishlaridagi kabi fazo va vaqt absolyut emas ekan va ular ayri-ayri holda mavjud emas ekan. Fazo vaqtga bog'liq va vaqt fazoga bog'liq ekan. Boshqacha aytganda, koordinataga vaqt ta'sir etadi va aksincha, vaqt o'tish maromiga koordinata va tezlik ta'sir etadi.

Lorens formulalari fizika rivojlanishi tarixida keskin o'zgarishlar yasadi va olimlar o'rtasida juda katta shov-shuvlarga sabab bo'ldi. Lorens almashtirishlarini tasavvur qilish uchun kundalik turmushimizda o'rganib qolgan klassik tasavvurlaridan voz kechishni hamda fazo-vaqt to'g'risida yangicha qarashlarni shakllantirishni talab qilar edi.



1. Olam efiri nima? Efir gipotezasi kimlar tomonidan ilgari surildi va qanday yakun topdi?
2. Nisbiylik nazariyasining postulatlarini ayting. Bu postulatlar kim tomonidan qachon kiritilgan?
3. K' sistemadan K sistemaga o'thanda Lorentz almashtirishlari qanday bo'ladi?
4. K sistemadan K' sistemaga o'thanda Lorentz almashtirishlari qanday bo'ladi?



§ 54. LORENTS ALMASHTIRISHLARIDAN KELIB CHIQUADIGAN NATIJALAR.

Soatlarni sinxronlashtirish:

Lorens almashtirishlaridan qanday natijalar kelib chiqishini o'rganishimizdan oldin soatlarning aynan teng yurishini, ya'ni soatlarning sinxron ishlayotganini tekshirib olishimiz kerak bo'ladi. Soatlarni sinxronlashtirish masalasi ancha jiddiy masaladir. Agar radiodan soat 12 dan 15 daqiqa o'tganini eshitgandan keyin soatimizni 12¹⁵ ga to'g'rilasak, soatimiz radioda aytilgan soatga sinxron bo'lmaydi, balki biroz orqada yuradi. Soatimizni to'g'rilaganda radiodan bizgacha tovush to'lqinlari $\Delta t_1 = \frac{\ell}{g}$ vaqtda etib

kelishi va soatni to'g'rilashimiz ham inersiya hisobiga ma'lum Δt_2 vaqt olishini hisobga olishimiz kerak. Demak, soatimizni eshitgan vaqtga qaraganda $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ vaqt oldinroq surishimiz kerak ekan. Soatlarni eng aniq sinxronlashtirish uchun fototok hisobiga ishlaydigan ikkita soatni qorong'u joyda bir-biridan ma'lum ℓ masofada joylashtiramiz.

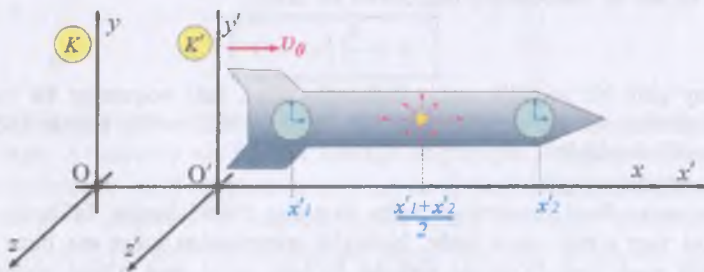
Bu soatlar orasidagi masofaning o'rtasiga kuchli yorug'lik chiqaruvchi yorug'lik manbaini kiritamiz. Ana shu yorug'lik manbaini yoqqan vaqtimizda yorug'lik signali ikkala soatga bir xil $\Delta t = \frac{\ell}{2c}$ vaqtda etib keladi va soatlar ayni bir vaqtda ishga tushib, ular

o'zaro sinxron ishlay boshlaydi. Lekin, soatlar ko'rsatadigan vaqt biz yorug'lik manbaini yoqqan vaqtimizdan $\Delta t = \frac{\ell}{2c}$ vaqt orqada yuradi.

Bir vaqtilikning nisbiyligi:

Galiley almashtirishlariga ko'ra barcha sanoq sistemalarida ham soatning yurish maromi bir xil, ya'ni vaqt o'tish jadalligi bir xil edi. Boshqacha aytganda, qo'zg'almas K sanoq sistemasining koordinatalar boshi O nuqtaga qo'yilgan soat fazoning barcha nuqtalaridagi va barcha sanoq sistemalaridagi vaqt o'tishini o'lchash uchun etarli edi. Lekin, ta'sir uzatish tezligi chekli qiymatga ega bo'lgani uchun Lorents almashtirishlariga asosan fazoning har bir nuqtasi hamda har bir ISS uchun alohida-alohida sinxronlashgan soatlar kerak bo'ladi.

K' sanoq sistemasining x_1' va x_2' nuqtalarida aynan bir t' vaqtda ikki voqea sodir bo'lsin. Ikki voqeani aynan bir vaqtda sodir etish uchun K' sanoq sistemasida x_1' va x_2' nuqtalarining o'rtasidagi $x_0' = \frac{x_1' + x_2'}{2}$ nuqtaga elektr kalitini o'rnatamiz. Bu kalit ulanganda elektr signali x_1' va x_2' nuqtalarga bir vaqtda etib keladi va bu soatlar sinxron ishlay boshlaydi. Aytaylik, ana shu soatlarning 12^{00} ga bong urish voqeasini K sistemadagi kuzatuvchi ham aynan bir 12^{00} vaqtda qayd qiladimi yoki bu voqealar K sanoq sistemasida turli paytlarda sodir bo'ladimi? Lorents almashtirishlariga ko'ra har bir voqeaning K sanoq sistemiada sodir bo'lish koordinatalari va vaqtlari quyidagicha bo'ladi:



54.1-rasm

$$x_1 = \frac{x_1' + v_0 \cdot t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}}; \quad t_1 = \frac{t' + \frac{v_0}{c^2} \cdot x_1'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} \quad \text{va} \quad x_2 = \frac{x_2' + v_0 \cdot t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}}; \quad t_2 = \frac{t' + \frac{v_0}{c^2} \cdot x_2'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}}.$$

Demak, yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, K' sistemada turli nuqtalarda bir vaqtda sodir bo'lgan voqealar K sistemada ham bir vaqtda sodir bo'lmas ekan. K sistemadagi kuzatuvchi x_2' nuqtada sodir bo'lgan voqeani x_1' nuqtadagi voqeadan kechikib qayd etadi. Bunda kechikish vaqti Δt quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\frac{g_0}{c^2} \cdot (x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \left(\frac{g_0}{c}\right)^2}}$$

Demak, K sistemadagi kuzatuvchi birinchi voqeani ertaroq, ikkinchi voqeani esa Δt vaqt kechikib qayd etar ekan. Lekin har ikkala voqea ham soat 12^{00} dan kechikib qayd etiladi. Chunki signal uzatishning eng katta tezligi c ga teng bo'lib, biror masofa bosib o'tish uchun albatta vaqt talab etadi. Masalan, birinchi signal 12^{10} da yetib kelsa, ikkinchi signal esa 12^{11} da yetib keladi.

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, x_1' va x_2' nuqtalar orasidagi masofa qancha katta bo'lsa, kechikish vaqti ham shuncha ortib ketar ekan. Kechikish vaqti $\Delta t = 0$ bo'lish uchun K' sistemada voqealar aynan bitta x' nuqtada bir vaqtda sodir bo'lish kerak ekan. Shunda K sistemadagi kuzatuvchi ikkala voqeani ham aynan bir t vaqtda qayd etadi. Yoki K sistemadagi kuzatuvchi ikkala voqeani aynan bitta t vaqtda qayd etish uchun x_2' nuqtadagi voqea x_1' nuqtadagi voqeadan $\Delta t'$ muddat oldinroq sodir bo'lish kerak. Shunda K sistemadagi kuzatuvchiga x_2' nuqtadagi voqea kechikmasdan keladi.

Kechikish vaqtini aniqlaylik. K sistemadagi kuzatuvchi ikkala voqeani t vaqt onida qayd etdi. Boshqacha aytganda, $t = t_1 = t_2$ bo'ladi. Bundan so'ralgan kattalikni aniqlashimiz mumkin bo'ladi.

$$t = \frac{t_1 + \frac{g_0}{c^2} \cdot x_1'}{\sqrt{1 - \left(\frac{g_0}{c}\right)^2}} = \frac{t_2 + \frac{g_0}{c^2} \cdot x_2'}{\sqrt{1 - \left(\frac{g_0}{c}\right)^2}} \rightarrow t_1 + \frac{g_0}{c^2} \cdot x_1' = t_2 + \frac{g_0}{c^2} \cdot x_2' \rightarrow \Delta t' = t_1' - t_2' = \frac{g_0}{c^2} (x_2' - x_1')$$

Demak, bunda $\Delta t'$ muddat quyidagicha bo'lar ekan:

$$\Delta t' = \frac{g_0}{c^2} (x_2' - x_1')$$

Shunday qilib bir vaqtlilik nisbiy tushuncha ekan. Ikki voqeaning bir vaqtda sodir bo'lishi faqat voqealar sodir bo'layotgan ISS uchun o'rinli bo'lib, boshqa ISSlari uchun esa bir vaqtlilik buziladi.

Vaqt oralig'ining nisbiyligi:

Nyuton mexanikasi tasavvuriga ko'ra vaqtning o'tishi barcha ISSlarida aynan bir xildir, ya'ni vaqt o'tishi absolyutdir. Nisbiylik nazariyasiga ko'ra esa biror voqeaning davom etish vaqti turli ISSlarida turlicha bo'ladi, ya'ni vaqt o'tishi nisbiydir. Faraz qilaylik, harakatlanayotgan K' sistemaning ixtiyoriy x' nuqtasida biror voqea t_1' paytda boshlanib, t_2' paytda tugasin. Bunda voqea davomiyligi K' sistemadagi soat bo'yicha $\tau_0 = \Delta t' = t_2' - t_1'$ ga teng bo'ladi. K' sistemada voqeaning boshlanishi va tugallanishi aynan bitta x' nuqtada sodir bo'lmoqda. Qaysi ISSda voqealar aynan bitta nuqtada sodir bo'lsa, o'sha ISSda o'lchangan vaqt **xususiy vaqt** deyiladi. Endi K' sistemadagi soat K sistemaga nisbatan g_0 tezlik bilan harakatlanayotgani uchun K sistemadagi kuzatuvchi bu voqealarni t_1 paytda boshlanib, t_2 paytda tugaganligini qayd etadi. Natijada, voqea davomiyligi K sistemadagi soat bo'yicha $\tau = \Delta t = t_2 - t_1$ ga teng bo'ladi. Bunda turli ISSlaridagi soatlar bo'yicha o'lchangan voqea davomiyliklari aynan bir xilmi yoki ular bir-biridan farq qiladimi degan savol tug'iladi.

K' sistemada o'tgan xususiy vaqt τ_0 hamda K sistemada o'tgan vaqt τ orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Bu formulani ikki xil usulda isbotlash mumkin:

1-usul

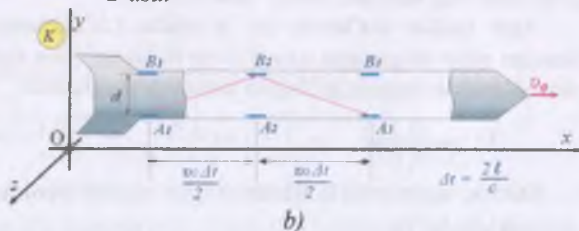
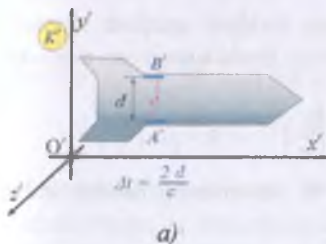
K' sistemaning ixtiyoriy x' nuqtasida voqealarning boshlanish va tugash vaqtlari t_1' va t_2' bo'lsa, K sistemada esa bu voqealar t_1 paytda boshlanib, t_2 paytda tugaydi. Bizdan sistemalardagi voqea davomiyliklari $\tau_0 = \Delta t' = t_2' - t_1'$ va $\tau = \Delta t = t_2 - t_1$ orasidagi bog'lanishni aniqlashimiz so'ralgan. Lorents almashtirishlariga ko'ra K sistemadagi kuzatuvchi voqea boshlanishi va tugashini

$$t_1 = \frac{t_1' + (\beta_0/c^2) \cdot x'}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}} \quad \text{va} \quad t_2 = \frac{t_2' + (\beta_0/c^2) \cdot x'}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}}$$

paytlarda qayt etadi. Natijada K sistemadagi soat bo'yicha $\tau = \Delta t = t_2 - t_1 =$

$$= \frac{t_2' + (\beta_0/c^2) \cdot x'}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}} - \frac{t_1' + (\beta_0/c^2) \cdot x'}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}} = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}} \text{ vaqt o'tgan bo'ladi.}$$

2-usul



54.2-rasm

Aytaylik, kosmik kema Yerga nisbatan β_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin. K sistema Yerga, K' sistema esa kosmik kemaga bog'langan ISS bo'lsin. Kosmik kema ikkita yon devorida A' va B' nuqtalarda ($A'B' = d$) ko'zgular o'rnatilgan bo'lsin. Biror vaqt onida uchuvchi A' nuqtadan B' nuqtaga qaratib yorug'lik uchquni yuborsin (masalan, fonarni bir yoqib o'chirsin). Bu uchqunning narigi devordagi ko'zgudan qaytib kelish vaqti $\tau_0 = \frac{2d}{c}$ ga teng bo'ladi. Yerdagi kuzatuvchi esa A nuqtadan yuborilgan uchqun B_1

nuqtadagi ko'zgudan qaytib A_2 nuqtaga etib kelganini qayd etadi. Natijada, u kosmik kema harakatini ham inobatga olib yorug'likning narigi ko'zgudan qaytib kelishda jami $2\ell = 2\sqrt{\left(\frac{\beta_0 \tau}{2}\right)^2 + d^2}$ ga teng masofa o'tganligini aniqlaydi. Demak, Yerdan turib kuzatganda

yorug'lik ko'proq yo'l bosib o'tar ekan, ya'ni $2d < 2\ell$ bo'ladi. Yorug'lik nuri $2d$ masofani ham c tezlik bilan, 2ℓ masofani ham c tezlik bilan o'tsa, uzoqroq masofani o'tish uchun uzoqroq vaqt sarflanish kerak degan fikr yuzaga keladi. Demak, yorug'lik nuri qaysi ISSda eng kam yo'l o'tgan bo'lsa, o'sha ISSda turib o'lchangan vaqt ham eng kichik bo'lish kerak ekan, ya'ni xususiy vaqt eng kichik vaqtdir degan xulosa kelib chiqadi.

Yerdagi kuzatuvchi uchun yorug'lik nuri 2ℓ masofani o'tish vaqti $\tau = \frac{2\ell}{c} = \frac{2\sqrt{(\vartheta_0 \tau / c)^2 + d^2}}{c}$

bo'ladi. Bundan foydalanib so'ralgan kattalikni aniqlash mumkin.

$$\left(\frac{c\tau}{2}\right)^2 = \left(\frac{\vartheta_0 \tau}{2}\right)^2 + d^2; \rightarrow \frac{c^2 - \vartheta_0^2}{4} \tau^2 = d^2, \rightarrow \frac{c^2 - \vartheta_0^2}{4} \tau^2 = \frac{c^2 r^2}{4}, \rightarrow \tau = \frac{c}{\sqrt{c^2 - \vartheta_0^2}} \tau_0 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (\vartheta_0 / c)^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Shunday qilib, kosmik kema ichida uchqun berilish voqeasi va uni yana qayd qilish voqeasi aynan bitta A' nuqtada sodir bo'lgani uchun bu sanoq sistemasida o'tgan vat eng kichik (xususiy vaqt) bo'ladi. Boshqa har qanday sanoq sistemasida xususiy vaqtdan ko'proq vaqt o'tar ekan.

Harakatlanayotgan ISSda (kosmik kemada) vaqt o'tishining sekinlanishi sodir bo'lar ekan. Yorug'lik tezligiga qanchalik yaqin tezlikda harakatlansa, bu sekinlanish shuncha kuchayadi, ya'ni vaqt to'xtab qolgandek bo'ladi. Lekin bu sekinlanishni kosmik kemandagi uchuvchilar sezmaydi. Masalan, kosmik kema yorug'lik tezligiga juda yaqin tezlikda harakatlanayotgan bo'lsa, kosmanavt odatdagiday 1 soat mizg'ib olgan vaqtda Yerda 100 yil, 1000 yil balki undan ham ko'proq vaqt o'tib butunlay boshqa era (muzlik erasi yoki global isish erasi va h.) boshlangan bo'lar. Vaqt o'tishidagi sekinlashish faqatgina mexanik hodisalargagina ta'sir qilmasdan, tabiatdagi barcha hodisalarga ta'sir qiladi. Tabiatdagi barcha jarayonlar fizik, kimik, modda almashinuv, fotosintez va hokoza jarayonlarning hammasi birday sekinlashadi.

Agar vaqtlar ma'lumbo'lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Bundan oldin chiqarilgan uzunlikning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so'ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (\vartheta_0 / c)^2}}, \rightarrow \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2, \rightarrow \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2, \rightarrow \vartheta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2} c$$

Demak, agar turli ISSlarida o'tgan vaqtlar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\vartheta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2} c$$

Uzunlik va hajmning nisbiyligi:

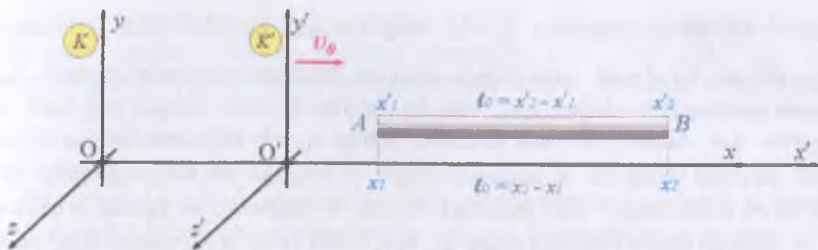
Lorents almashtirishlaridan kelib chiqadigan yana bir natija shuki, bir-biriga nisbatan harakatda bo'lgan turli inersial sanoq sistemalarida jismning uzunliklari turlicha bo'ladi. Harakatlanayotgan K' sanoq sistemasida (kosmik kemada) uzunligi ℓ_0 bo'lgan sterjenning uzunligini tinch turgan K sanoq sistemasida (Yerda) turib o'lchanganda ℓ chiqadi. Hisob-kitoblarning ko'rsatishicha har doim $\ell < \ell_0$ bo'lar ekan. Sterjen K' sanoq sistemasiga (kosmik kemaga) nisbatan tinch turibdi. Qaysi sanoq sistemasiga nisbatan sterjen tinch turgan bo'lsa, o'sha sanoq sistemasida o'lchangan uzunlik **xususiy uzunlik** deyiladi va xususiy uzunlik eng uzun bo'ladi. Boshqacha aytganda har qanday ISSda o'lchangan uzunlik xususiy uzunlikdan qisqa chiqadi.

K' sistemada o'lchangan xususiy uzunlik ℓ_0 hamda K sistemada o'lchangan uzunlik ℓ orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - (\vartheta_0 / c)^2} = \ell_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

Bu formulani ikki xil usulda isbotlash mumkin:

1-usul



54.3-rasm

K' sistemada l_0 uzunlikdagi $A'B'$ sterjen Ox o'qiga parallel joylashgshan bo'lsin. Ixtiyoriy t paytda bu sterjen uchlari koordinatalari x_1' va x_2' bo'lsa, K sistemada sterjen uzunligi $l_0 = x_2' - x_1'$ bo'ladi. Ushbu sterjenning K sistemadagi uzunligini topish so'ralgan. K sistemadagi kuzatuvchi soatning t vaqtida sterjen uchlari x_1 va x_2 koordinatalarda ekanligini aniqlaydi. Lorens almashtirishlariga ko'ra ikkala ISSda sterjen uchlari koordinatalari quyidagicha bog'langan:

$$x_1' = \frac{x_1 - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad x_2' = \frac{x_2 - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Bularni ayirib

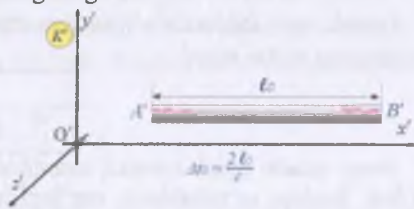
$$x_2' - x_1' = \frac{x_2 - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{x_1 - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

ekanligi topiladi. Bundan esa so'ralgan kattalikni aniqlash mumkin.

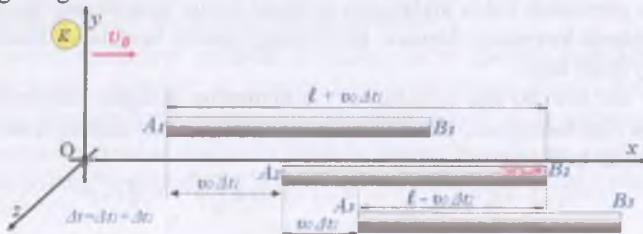
$$l_0 = \frac{x_2 - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{x_1 - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2} = l_0 \sqrt{1 - (v_0/c)^2}$$

2-usul

Aytaylik, kosmik kema Yerga nisbatan v_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin. K sistema Yerga, K' sistema esa kosmik kemaga bog'langan ISS bo'lsin. K' sistemada uzunligi $l_0 = A'B'$ bo'lgan gorizontal sterjen olaylik. Bu sterjenning A' uchidan ikkinchi uchiga tomon nur yo'naltirilsa, bu nur B' nuqtaga o'rnatilgan ko'zgudan qaytib yana A' uchiga etib keladi. K' sistema, ya'ni kosmik kema ichidagi kuzatuvchi nurni sterjenning narigi



a)



b)

54.4-rasm

uchidan borib qaytib kelguncha $\Delta t_0 = \frac{2\ell_0}{c}$ vaqt ketishini hisoblay oladi. K sistemadagi kuzatuvchi esa bu $\ell = AB$ uzunlikdagi sterjenni harakatlanayotganini ko'radi. Nur A_1 nuqtadan nurlanganda sterjen A_1B_1 holatda, bu nur ikkinchi uchiga etib kelib undan qaytganda A_2B_2 holatda va yana dastlabki uchiga qaytib kelganda esa A_3B_3 holatda bo'ladi. Shuning uchun nur A_1 nuqtadan chiqib, B_2 nuqtaga etib kelgunga qadar Δt_1 vaqt o'tadi va bu orada sterjen $\vartheta_0 \Delta t_1$ masofaga siljiydi. B_2 nuqtadagi ko'zgudan orqaga qaytib yana A_3 nuqtaga qaytib kelgunga qadar Δt_2 vaqt o'tadi va bu orada sterjen $\vartheta_0 \Delta t_2$ masofaga siljiydi. Ana shularni bilgan holda tenglamalar sistemasi tuzamiz.

$$\begin{cases} c\Delta t_1 = \ell + \vartheta_0 \Delta t_1 \\ c\Delta t_2 = \ell - \vartheta_0 \Delta t_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} (c - \vartheta_0) \Delta t_1 = \ell \\ (c + \vartheta_0) \Delta t_2 = \ell \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta t_1 = \frac{\ell}{c - \vartheta_0} \\ \Delta t_2 = \frac{\ell}{c + \vartheta_0} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{\ell}{c - \vartheta_0} + \frac{\ell}{c + \vartheta_0} = \frac{2\ell c}{c^2 - \vartheta_0^2} \\ \Delta t_0 = \frac{2\ell_0}{c} \end{cases}$$

Endi vaqtning nisbiyligi

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2}}$$

formulasiga sistemada topilgan qiymatlarni qo'yamiz. Natijada,

$$\frac{2\ell c}{c^2 - \vartheta_0^2} = \frac{2\ell_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2}}, \rightarrow \frac{\ell c^2}{c^2 - \vartheta_0^2} = \frac{\ell_0}{\sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2}}, \rightarrow \frac{\ell}{1 - (\vartheta_0/c)^2} = \frac{\ell_0}{\sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2}}, \rightarrow \ell = \ell_0 \sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2} \text{ formula kelib chiqadi.}$$

Agar uzunliklar ma'lum bo'lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Bundan oldin chiqarilgan uzunlikning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so'ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$\ell_0 = \frac{\ell}{\sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2}}, \rightarrow \left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2, \rightarrow \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2, \rightarrow \vartheta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2} c$$

Demak, turli ISSlarida o'lchangan uzunliklar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\vartheta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2} c$$

Shuni eslatib o'tish kerakki, uzunlikning qisqarishi faqat harakat yo'nalishida sodir bo'ladi. Boshqa yo'nalishlarda esa hech qanday o'zgarish sodir bo'lmaydi. Yuqoridagi rasmlarda sterjen gorizontol holda joylashgan bo'lgani uchun uzunlikning qisqarishi ham ana shu yo'nalishlarda kuzatiladi. Demak, sterjenning harakat vaqtida ko'ndalang kesimi yuzasi o'zgarmay qolar ekan.

Agar hajmlar ma'lum bo'lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Uzunlikning nisbiyligi formulasini har ikkala tomonini sterjen ko'ndalang kesim yuzasiga ko'paytirsak, hajmlar kelib chiqadi, ya'ni

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2} \cdot S, \rightarrow V = V_0 \sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2} = V_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

bo'ladi.

Demak, K va K' inersial sanoq sistemalarida hajmlar quyidagicha bog'langan bo'lar ekan:

$$V = V_0 \sqrt{1 - (\vartheta_0/c)^2} = V_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, uzunlik necha marta qisqarsa, hajm ham shuncha marta qisqarar ekan. Bu qisqarish sterjenlarda sodir bo'lmagan, balki barcha harakatlanayotgan jismlarda harakat yo'nalishida kuzatiladi. Masalan, harakatlanganda aylana ellipsga, to'g'ri to'rtburchak kvadrat yoki parallelogramga, qalam esa tangaga (qalinligi) aylanishi mumkin.

Relyativistik tezliklarni qo'shish:

K va K' inersial sanoq sistemalari berilgan bo'lsin hamda K' sistema K sistemaga nisbatan g_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin. K' sistemada esa biror jism Ox' o'qi yo'nalishida g' tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, bu jism K sistemaga nisbatan qanday tezlik bilan harakat qiladi?

K sistemada elementar ko'chish va elementar vaqt quyidagicha bo'ladi:

$$dx = \frac{dx' + g_0 \cdot dt'}{\sqrt{1 - (g_0/c)^2}}; \quad dt = \frac{dt' + \frac{g_0}{c^2} \cdot dx'}{\sqrt{1 - (g_0/c)^2}}$$

Agar $g = \frac{dx}{dt}$ va $g' = \frac{dx'}{dt'}$ ekanligini e'tiborga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$g = \frac{dx}{dt} = \frac{dx' + g_0 \cdot dt'}{dt' + \frac{g_0}{c^2} \cdot dx'} = \frac{\frac{dx'}{dt'} + g_0}{1 + \frac{g_0}{c^2} \cdot \frac{dx'}{dt'}} = \frac{g' + g_0}{1 + \frac{g_0 \cdot g'}{c^2}}$$

Demak, g_0 tezlik bilan harakatlanayotgan K' sistemadagi jism K' sistemaga nisbatan g' tezlik bilan harakatlansa, bu jismning K sistemadagi tezligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$g = \frac{g_0 + g'}{1 + \frac{g_0 g'}{c^2}}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, natijaviy tezlik Galiley almashtirishlariga ko'ra chiqadigan $g_0 + g'$ tezlikdan kichik chiqar ekan.

Agar g_0 tezlik bilan harakatlanayotgan K' sistemadagi jism K' sistemaga nisbatan g' tezlik bilan Ox' o'qiga qarama-qarshi yo'nalishda harakatlansa, bu jismning K sistemadagi tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$g = \frac{g_0 - g'}{1 - \frac{g_0 g'}{c^2}}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, natijaviy tezlik Galiley almashtirishlariga ko'ra chiqadigan $g_0 - g'$ tezlikdan katta chiqar ekan.

Relyativistik tezliklarni qo'shish qoidasiga ko'ra ikkinchi postulatning to'g'riligini tekshirib ko'raylik. Aytaylik, K sistema Yerga bog'langan sanoq sistemasi, K' sistema esa g_0 tezlik bilan harakatlanayotgan poezdga bog'langan sanoq sistemasi bo'lsin. Poyezd farasini yoqqanda faradan chiquvchi fotonlar poyezdga nisbatan c tezlikda uzoqlashadi. Ana shu fotonning Yerga nisbatan ham tezligi c ga tengligini tekshiraylik.

$$g = \frac{g_0 + g'}{1 + \frac{g_0 g'}{c^2}} = \frac{g_0 + c}{1 + \frac{g_0 c}{c^2}} = \frac{g_0 + c}{1 + \frac{g_0}{c}} = \frac{g_0 + c}{g_0 + c} = c$$

Demak, shunday xulosa qilishimiz kerakki, moddiy nuqtaning absolyut tezligi hech qachon yorug'lik tezligidan katta bo'la olmaydi.

Endi Yerda turli tomonga ketayotgan ikki fotonning bir-biriga nisbatan tezligini topaylik.

$$g = \frac{g_0 + g'}{1 + \frac{g_0 g'}{c^2}} = \frac{c + c}{1 + \frac{cc}{c^2}} = \frac{2c}{1+1} = c$$

Demak, tabiatda hech bir tezlik c dan katta bo'la olmas ekan.

Relyativistik tezliklarni qo'shish formulasi umumiy bo'lib, yorug'lik tezligidan ancha kichik ($g_0 \ll c, g' \ll c$) tezliklarda bu formula oddiy klassik ko'rinishga o'tadi.

$$g \approx g_0 + g' \quad \text{yoki} \quad g \approx g_0 - g'$$

Shunday qilib, relyativistik mexanika keng qamrovli mohiyatga ega bo'lib, jismning kichik ($g \ll c$) tezliklarida u Nyuton mexanikasi qonunlariga o'tar ekan.

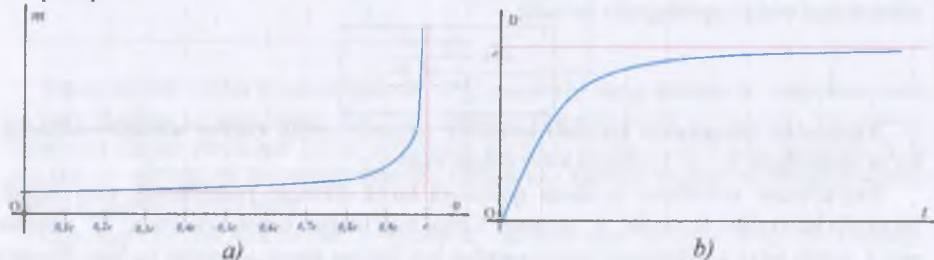
Massa va zichlikning nisbiyligi:

Hisob-kitoblarga ko'ra jism tezligi oshgan sari uning massasi ham ortib borar ekan. jismning tinchlikdagi va harakatdagi massalari xuddi uzunlik va vaqtning nisbiyligi kabi tezlik orqali o'zaro bog'langan bo'ladi.

Jismning K va K' sistemalardagi massalari orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (g_0/c)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Yuqoridagi formuladan $m = m(g)$ va $g = g(t)$ grafiklarni chizish mumkin (5.1.4.5-rasm). Yuqoridagi 5.1.4.5-a, rasmdan ko'rinib turibdiki, jismning tezligi yorug'lik tezligiga yaqinlashib borgan sari uning massasi cheksiz ortibyu borar ekan. Masalan, $g = 0,7c$ tezlikda $m = 1,4m_0$, $g = 0,8c$ tezlikda $m = 1,666m_0$, $g = 0,9c$ tezlikda $m = 2,264m_0$, $g = 0,99c$ tezlikda $m = 7,089m_0$, $g = 0,999c$ tezlikda esa $m = 22,366m_0$ va hokozaga bo'ladi. Demak, massa ortib borar ekan, bu og'ir massani tezlashtirish yanada qiyinroq kechadi. Yuqoridagi 5.1.4.5-b, rasmdan ko'rinib turibdiki, jism tezligi dastlab ancha past tezliklarda vaqtga chiziqli bog'langan. Yorug'lik tezligiga yaqinlashgan sari esa tezlikni oshirish mashaqqatli kechib, ancha uzoq vaqt oladi. Yorug'lik tezligiga tenglashish esa cheksiz ko'p vaqt oladi.



5.1.4.5-rasm

Jismning tinchlikdagi massasi eng kichik bo'lib, uni **xususiy massa** deyiladi. Masalan, kosmik kema ichida turib o'lchangan massa xususiy massa bo'lib, uni Yerdan turib o'lchangan bu xususiy massadan har doim katta chiqadi.

Agar massalar ma'lum bo'lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Massaning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so'ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(g_0/c)^2}} \rightarrow \left(\frac{m_0}{m}\right)^2 = 1 - \left(\frac{g_0}{c}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{g_0}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2 \rightarrow g_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} c$$

Demak, turli ISSlarida o'lgangan massalar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$g_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} c$$

Tezlik ortganda jismning massasi ortar ekan demak, uning zichligi ham ortish kerak. Jism harakatlanayotganda uning massasi ortib hajmi esa kamayadi. Jismning tinchlikdagi zichligi $\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$ bo'lsa, harakat paytida esa $\rho = \frac{m}{V}$ ga teng bo'ladi. Massa uchun

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(g_0/c)^2}}$$

formuladan, hajm uchun esa

$$V = V_0 \sqrt{1-(g_0/c)^2}$$

formuladan foydalansak, so'ralgan kattalikni topishimiz mumkin.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{m_0}{\sqrt{1-(g_0/c)^2}}}{V_0 \sqrt{1-(g_0/c)^2}} = \frac{m_0}{V_0 (1-(g_0/c)^2)} = \frac{\rho_0}{1-(g_0/c)^2}$$

Shunday qilib, jismning K va K' sistemalardagi zichliklari orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'lar ekan:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1-(g_0/c)^2} = \frac{\rho_0}{1-\beta^2}$$

Jismning tinchlikdagi zichligi eng kichik bo'lib, uni *xususiy zichlik* deyiladi. Masalan, kosmik kema ichida turib o'lgangan massa xususiy zichlik bo'lib, uni Yerdan turib o'lganganda bu xususiy zichlikdan har doim katta chiqadi.

Agar zichliklar ma'lum bo'lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Zichlikning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so'ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$\rho = \frac{\rho_0}{1-(g_0/c)^2} \rightarrow \frac{\rho_0}{\rho} = 1 - \left(\frac{g_0}{c}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{g_0}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^2 \rightarrow g_0 = \sqrt{1 - \frac{\rho_0}{\rho}} c$$

Demak, turli ISSlarida o'lgangan zichliklar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$g_0 = \sqrt{1 - \frac{\rho_0}{\rho}} c$$

Shunday qilib, Lorens almashtirishlaridan kelib chiqadigan natijalardan foydalanib, vaqt oralig'i, uzunlik, massa va zichlikning harakat tezligiga bog'liqlik jadvalini tuzish mumkin bo'lar ekan.

No	β_0	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}}$	$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$	$\ell = \frac{\ell_0}{\gamma}$	$m = \gamma \cdot m_0$	$\rho = \gamma^2 \cdot \rho_0$
1	0,1c	1,00504	1,00504 · Δt_0	0,99498 · ℓ_0	1,00504 · m_0	1,01010 · ρ_0
2	0,2c	1,02062	1,02062 · Δt_0	0,97979 · ℓ_0	1,02062 · m_0	1,04166 · ρ_0
3	0,3c	1,04828	1,04828 · Δt_0	0,95394 · ℓ_0	1,04828 · m_0	1,09889 · ρ_0
4	0,4c	1,09109	1,09109 · Δt_0	0,91651 · ℓ_0	1,09109 · m_0	1,19048 · ρ_0
5	0,5c	1,15470	1,15470 · Δt_0	0,86603 · ℓ_0	1,15470 · m_0	1,33333 · ρ_0
6	0,6c	1,25000	1,25000 · Δt_0	0,80000 · ℓ_0	1,25000 · m_0	1,56250 · ρ_0
7	0,7c	1,40028	1,40028 · Δt_0	0,71414 · ℓ_0	1,40028 · m_0	1,96078 · ρ_0
8	0,8c	1,66667	1,66667 · Δt_0	0,60000 · ℓ_0	1,66667 · m_0	2,77778 · ρ_0
9	0,9c	2,29415	2,29415 · Δt_0	0,43590 · ℓ_0	2,29415 · m_0	5,26289 · ρ_0
10	0,95c	10,2564	10,2564 · Δt_0	0,09750 · ℓ_0	10,2564 · m_0	105,194 · ρ_0
11	0,98c	25,2525	25,2525 · Δt_0	0,03960 · ℓ_0	25,2525 · m_0	637,688 · ρ_0
12	0,99	50,2513	50,2513 · Δt_0	0,19900 · ℓ_0	50,2513 · m_0	2525,19 · ρ_0

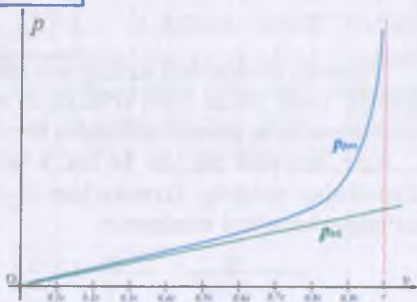
Relyativistik dinamikaning asosiy tenglamasi:

Jismning harakat tezligi yorug'lik tezligiga yaqinlashganda uning massasi ortib ketar ekan, demak, uning impulsi ham ortish kerak degan fikr yuzaga keladi. Haqiqatan ham tezlik yorug'lik tezligiga yaqinlashganda, jismning impulsi faqatgina tezlik oshishi hisobiga bo'lmagan, balki massa oshishi hisobiga ham ortar ekan. Shunday qilib, jismning relyativistik impulsi quyidagi ko'rinishda bo'lar ekan:

$$p = \frac{m_0 \beta}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}}$$

Jism impulsining klassik va relyativistik qoidalar bo'yicha ortishi 54.6-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, Nyuton mexanikasi bo'yicha hisoblaganda jism impulsi chekli $p = m_0 c$ qiymatga, Relyativistik mexanika bo'yicha esa cheksiz katta qiymatga ega bo'lar ekan.

Nyuton mexanikasiga ko'ra jism impulsining vaqt bo'yicha o'zgarishi unga ta'sir etuvchi kuchga teng bo'lar edi.



54.6-rasm

Relyativistik mexanikada ham xuddi shu qonuniyat saqlanib qoladi, lekin uning ko'rinishi biroz boshqacharoq bo'ladi

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \beta}{\sqrt{1 - (\beta_0/c)^2}} \right)$$

Yuqoridagi tenglama relyativistik mexanikaning asosiy tenglamasi deb ataladi. Relyativistik mexanikada jismning harakat tenglamasi xuddi ana shu tenglamadan keltirib chiqariladi.

Massa va energiya orasidagi bog'lanish:

Tezlikni oshirganda uning massasi ham ortishi bilan tanishib chiqdik. Tezlik oshganda unga kinetik energiya beramiz. Demak, massa ortishi unga berilgan kinetik energiya bilan

bog'liq bo'lishi mumkinmi degan savol tug'iladi. Xuddi shuningdek, bu savol yadro va elementar zarralar fizikasida ham juda muhim. Uran yadrosi neytron bilan parchalanganda yangi yadrolar va bir nechta erkin neytron paydo bo'ladi. Bunda juda katta issiqlik ajralib chiqadi. Hisob-kitoblarga ko'ra yadro va neytronning to'qnashuvigacha bo'lgan massalari yig'indisi uran parchalangandan keyingi hosil bo'lgan yadrolar va neytronlar massalari yig'indisidan katta chiqar ekan. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, yadro parchalanganda ajralib chiqqan energiya o'zi bilan ma'lum massani ham olib ketar ekan. Aksincha, jismga energiya berilsa, uning massasi ortish kerak ekan.

Shunday qilib, massa va energiya orasidagi bog'lanish quyidagi ko'rinishda bo'lar ekan:

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

Bu yerda: Δm – energiya olgan jismning ortgan massasi, ΔE – jismga berilgan energiya bo'lib, u qanday usulda berilishiga bog'liq emas. Jism olgan ΔE energiya potensial energiya, kinetik energiya, erish issiqligi, bug'lanish issiqligi, yonish issiqligi, isitilganda olgan issiqlik va hokoza bo'lishi mumkin.

$$\Delta E = \frac{m g^2}{2}, \quad \Delta E = m g h, \quad \Delta E = \frac{k x^2}{2}, \quad \Delta E = \lambda m, \quad \Delta E = r m, \quad \Delta E = q m, \quad \Delta E = c m \Delta t$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, to'xtab targan avtomobil massasi yurganda kataroq, poldan tepaga ko'tarilgan jismning massasi kattaroq, prujinaga mahkamlangan jism muvozonat vaziyatidan eng chetki vaziyatda bo'lganda massasi kattaroq, muz erib suvga aylanganda massasi kattaroq, qaynagan suv bug'ga aylanganda massasi kattaroq va hokoza bo'lar ekan.

Jismga energiya ΔE berilganda u energiyaga proporsional holda qo'shimcha Δm massa olar ekan, tinch turganda ham energiyaga ega emasmi degan savol tug'iladi. Axir jism tinch turganda m_0 massaga egaku, nega endi E_0 energiyaga ega bo'lmasin. Haqiqatan ham barcha jismlar tinch turganda ham yashirin holatdagi hali uyg'onmagan energiyaga ega bo'lib, u quyidagicha bo'ladi:

$$E_0 = m_0 c^2$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, har qanday $m_0 = 1 \text{ kg}$ massali jism (kul, suv, tosh, metal, benzin, gaz, yog'och, kislota va h.) $E_0 = 9 \cdot 10^{16} \text{ J}$ tinchlikdagi energiyaga ega. Bu energiya moddaning turidan qat'iy nazar unda mujassam bo'lgan energiyadir. Ximiyaviy reaksiyalar paytida ajraladigan energiya tinchlikdagi energiyaning juda kam ulushini tashkil etadi. Masalan, yaxshi yonuvchi $m_0 = 1 \text{ kg}$ massali benzin yonganda undan $Q = 46 \text{ MJ}$ energiya ajralib chiqib, bunda benzin o'z massasidan atigi $\Delta m = 5,11 \cdot 10^{-10} \text{ kg} = 0,000511 \text{ mg}$ qismini issiqlikka aylantirgan bo'ladi. Yadro qurollari – vodorod bombasi, atom bombasi naqadar qiruvchi kuchga ega ekanligini har birimiz juda yaxshi bilamiz. Hisob-kitoblarga ko'ra yadro reaksiyalari paytida ham ajraladigan energiya tinchlikdagi energiyaning ancha kam – taxminan $1/2000$ ulushini tashkil etar ekan. Agar jismni to'la elektromagnit maydonga aylantirish iloji bo'lsa, undan ana shunday $E_0 = 9 \cdot 10^{16} \text{ J}$ kattalikdagi energiya olish mumkin bo'lar ekan. Ushbu elektromagnit maydonga aylanish hodisasi zarra va uning antizarrasi uchrashganda sodir bo'lib, bu hodisani anniglyasiyalanish deyiladi. Masalan, elektron va uning antizarrasi pozitron uchrashganda har biri $0,511 \text{ MeV}$ dan bo'lgan 2α γ -kvantiga aylanar ekan, ya'ni zarralarning massalari to'la nurlanar ekan.

Relyativistik kinetik energiya:

Jism kichkina tezliklarda harakatlanganda uning kinetik energiyasi $E_k = \frac{mv^2}{2}$ formula orqali aniqlanishi bizga ma'lum. Lekin bizni jism yorug'lik tezligiga yaqin tezliklarda harakatlanganda uning kinetik energiya ifodasi qanday ko'rinishda bo'lishi qiziqtiradi. Ana shu savolga javob berishga harakat qilamiz.

Jismning tinchlikdagi energiyasi $E_0 = m_0 c^2$ ifoda bilan, relyativistik energiyasi esa

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} c^2$$

ifoda orqali aniqlanadi. Energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq, bu energiyalar farqi jismni tezlashtirish uchun berilgan kinetik energiya bo'lish kerak.

Jismning relyativistik kinetik energiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$E_K = E - E_0 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

Yuqoridagi formuladan jism tezligini yorug'lik tezligigacha yaqinlashtirish juda katta energiya talab qilishi ko'rinib turibdi. Masalan, jism tezligi $v = \frac{\sqrt{3}}{2} c \approx 0,866 c$ bo'lganda, uning massasi 2 marta ortadi. Bu tezlikka erishtirish uchun jismga $E_K = m_0 c^2$ tinchlikdagi energiyasiga teng bo'lgan energiya beriladi. Massasi $m_0 = 1 \text{ kg}$ bo'lgan jismni ana shu tezlikka etkazish uchun $E_K = 9 \cdot 10^{16} \text{ J}$ energiya zarur bo'lib, bu energiyani esa taxminan 2 mln. tonna benzin yonganda olish mumkin bo'lar ekan. Massasi $m_0 = 1 \text{ kg}$ bo'lgan jism tezligini $v = \frac{2\sqrt{2}}{3} c \approx 0,9428 c$ tezlikkacha yetkazish uchun esa taxminan 4 mln. tonna benzin yonganda ajraladigan energiya kerak bo'ladi. Jism tezligini yorug'lik tezligigacha yetkazish uchun esa cheksiz katta energiya kerak bo'ladi. Shuning uchun ham jism tezligini yorug'lik tezligigacha yetkazish mumkin bo'lmasdan, balki unga yaqinlashish mumkindir.

Ma'lumki, har bir yangi yaratilgan nazariya oldingisini inkor etmasdan, balki uni to'ldirishi kerak, ya'ni moslik prinsipi bajarilishi kerak. Xuddi shuningdek, kinetik energiya uchun ham bu prinsip bajarilishi kerak. Yuqorida yozilgan relyativistik kinetik energiya formulasida ushbu

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} \approx 1 + \frac{v_0^2}{2c^2} + \frac{v_0^4}{6c^4} + \dots$$

kasrni ko'phadlar ko'rinishida yozib olsak va past tezliklar uchun dastlabki ikkita hadni e'tiborga olsak, u holda relyativistik kinetik energiya ushbu

$$E_K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} - 1 \right) = m_0 c^2 \left(1 + \frac{v_0^2}{2c^2} - 1 \right) = \frac{m_0 v_0^2}{2}$$

klassik kinetik energiya ko'rinishiga o'tadi.

Energiya va impuls orasidagi bog'lanish:

Jism harakatlanganda u energiya olishi bilan bir qatorda impuls ham oladi. SHuning uchun jism olgan impuls va energiyasi orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi qandaydir biror tenglama bormi degan savol tug'ilishi tabiiy. Ana shu bog'liqlikni aniqlaymiz.

Jism harakatlanganda relyativistik energiyasi

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} c^2$$

ga teng bo'ladi. Bu ifodani kvadratga ko'tarib, matematik almashtirishlar natijasida

$$E^2 - \frac{E^2 v^2}{c^2} = m_0^2 c^4 \text{ ifodani, undan esa } E^2 = m_0^2 c^4 + \frac{E^2 v^2}{c^2} \text{ ifodani hosil qilamiz. Tenglikni}$$

chap qismidagi E ni mc^2 ga almashtirib, $E^2 = m_0^2 c^4 + c^2 (mv)^2$ ni olamiz. Bu yerda impuls $p = mv$ ekanini inobatga olsak, so'ralgan E va p orasidagi munosabatni topamiz.

Shunday qilib, energiya va impuls orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'lar ekan:

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} = \sqrt{E_0^2 + (pc)^2}$$

Bu formuladan jism impulsi quyidagicha bo'ladi:

$$p = \frac{\sqrt{E^2 - E_0^2}}{c}$$

Agar yuqorida topilgan formulalarni yorug'lik kvanti – foton uchun qo'llasak, ajoyib natijalarga ega bo'lamiz. Ma'lumki, foton tinchlikda massaga, demak energiyaga ham ega emas, ya'ni foton uchun $m_0 = 0$, $E_0 = 0$ bo'ladi. Bularni inobatga olib, fotonning impulsini topish mumkin.

$$E_f = pc \quad \text{yoki} \quad p_f = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Demak, fotonni energiyasi $E_f = h\nu$ va impulsi $p_f = \frac{h}{\lambda}$ bo'lgan zarracha kabi tasavvur qilish mumkin ekan.



1. Soatlarni sinxronlashtirish deganda nimani tushunasiz va u qanday amalga oshiriladi?
2. Bir vaqtliklikning nisbiyligi haqida gapirib bering.
3. Vaqt oralig'ining nisbiylik formulasini yozing. Xususiy vaqt nima? Vaqtlar berilanda tezlikni tpish formulasini yozing.
4. Uzunlikning nisbiylik formulasini yozing. Xususiy uzunlik nima? Uzunliklarlar berilanda tezlikni tpish formulasini yozing.
5. Massaning nisbiylik formulasini yozing. Xususiy massa nima? Massalar berilanda tezlikni tpish formulasini yozing.
6. Hajmning nisbiylik formulasini yozing. Hajmlar berilanda tezlikni topish formulasini yozing.
7. Zichlikning nisbiylik formulasini yozing. Zichliklar berilanda tezlikni topish formulasini yozing.
8. Relyativistik dinamikaning asosiy tenglamasini yozing.
9. Relyativistik tezliklarni qo'shish qoidasini yozing.
10. Massa va energiya orasidagi bog'lanishni yozing. Tinchlikdagi energiya nima?
11. Relyativistik kinetik energiyani yozing va undan klassik kinetik energiyaning ifodasini



X BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Tinch holatdagi uzunligi 1 m bo'lgan chizg'ich biror sanoq tizimida 0,6c tezlik bilan harakatlanisa, shu tizimda uning uzunligi qanday (cm) bo'ladi?

- A) 80 B) 84 C) 89 D) 90 E) 95

Berilgan:

$$l_0 = 1m$$

$$v = 0,6c$$

$$l = ?$$

Yechish:

Maxsus nisbiylik nazariyasi qonunlariga ko'ra jismning uzunligi xarakat tezligiga teskari mutonosib yani tezligi ortishi bilan uning uzunligi

qisqaradi. Bu bog'lanish $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ko'rinishida. Bundan

$$l = 1 \sqrt{1 - \frac{0,36c^2}{c^2}} = 0,8 m = 80 sm \text{ ekanligi kelib chiqadi.}$$

Javob: A)

2. Agar Yerda 70 yil o'tsa, Yerga nisbatan 0,99c tezlik bilan harakatlanayotgan yulduzlararo uchuvchi kemada necha yil o'tadi?

$$c = 3 \cdot 10^8 m/s.$$

- A) 10 soat B) 1 C) 10 D) 20 E) 70

Berilgan:

$$t_0 = 70yil;$$

$$v = 0,99c;$$

$$t = ?$$

Yechish:

Nisbiylik nazariyasi qonunlariga binoan vaqt ham nisbiy tushuncha bo'lib u ham xarakat tezligiga bo'g'liq yani yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bilan harakatlanayotgan sistemada vaqtning o'tishi tinch turgan sistemaga nisbatan sekinroq o'tadi. Shunga binoan harakatdagi sistemadagi vaqt tinch turgan sistemadagi vaqt bilan quydagicha

bog'langan $t = t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ bundan $t = 70 \cdot 0,141 \approx 10 yil$

Javob: C)

3. Jism qanday tezlik bilan harakatlanganaa, uning massasi tinchlikdagi massasidan ikki marta ortadi?

- A) 0,87c B) 0,9c C) 0,8c D) 0,72c E) 0,92c.

Berilgan:

$$\frac{m}{m_0} = 2$$

$$v = ?$$

Yechish:

Nisbiylik nazariyasi qonunlariga ko'ra jismning harakatdagi massasi uning tinchlikdagi massasi bilan quydagicha bog'langan $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$$\text{bundan } v = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}c}{2}$$

Javob: A)

4. Yerdan ikkita kosmik kema Yerga nisbatan har biri 0,5c tezlik bilan qarama-qarshi tomonga uchirildi. Birinchi kemandi ikkinchisiga nisbatan tezligi qanday?

- A) c B) 0 C) 0,8c D) 8c E) 0,5c

Berilgan:

$$v_1 = 0,5c;$$

$$v_2 = 0,5c;$$

Yechish:

Tezliklarni qo'shishning relyativistik qonuniga ko'ra $v_n = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} =$

0,8c ekanligi kelib chiqadi.

$$u_n = ?$$

Javob: C)

5. 0,5c tezlik bilan harakatlanayotgan jism zichligi tinch holatdagiga nisbatan qanday o'zgaradi? c- yorug'likning vakuumdagi tezligi.

- A) o'zgarmaydi B) 1,3 marta kamayadi C) 1,3 marta oshadi
D) 0,5 marta kamayadi E) 0,5 marta oshadi.

Berilgan:

$$V=0,5c$$

Yechish:

Nisbiylik nazariyasi qonunlariga ko'ra jimning harakatdagi massasi uning tinchlikdagi massasi bilan quydagicha bog'langan $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

bunda $m = \rho S l$ va $m_0 = \rho_0 S l_0$ ekanligini etiborga olsak $\rho l = \frac{\rho_0 l_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

ifodaga ega bo'lamiz. Bunda l o'rniga $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ifodani qo'yib

$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ifodaga ega bo'lamiz bundan $\rho = \frac{\rho_0}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1,3$ marta ortishi kelib chiqadi.

Javob: B)

6. Quyosh nurlari yil davomida Yerga $5,4 \cdot 10^{24}$ J energiya olib keladi. Agar Yer bu energiyani fazoga nurlamaganida 10 yil davomida uning massasi necha kg ortgan bo'lar edi?

- A) $3 \cdot 10^8$ B) $6 \cdot 10^8$ C) $3 \cdot 10^9$ D) $6 \cdot 10^9$ E) 0

Berilgan:

$$E = 5,4 \cdot 10^{24} \text{ J}$$

Yechish:

Nisbiylik prinsipiga ko'ra massa energiyaga ekvivalent kattalik bo'lib, jismlar energiya yutish bilan massasi ortadi va aksincha. Ular orasida $E = \Delta mc^2$ bog'lanish mavjud. Bunda Δm massaning o'zgarishi. Demak, 1 yil davomida Yer massasi $\Delta m = \frac{E}{c^2} \approx 6 \cdot 10^7$ kg ga ortar ekan. 10 yilda esa $6 \cdot 10^8$ kg ga ortgan bo'lar edi.

Javob: B)



X BOBGA DOIR TESTLAR

1. Fazoda ikkita zarracha bir to'g'ri chiziq bo'ylab bir-biri tomon 0,8c va 0,9c tezlik bilan uchmoqda. Ikkinchi zarrachaning birinchi zarrachaga nisbatan tezligini aniqlang. (c - yorug'likning vakuumdagi tezligi.)

- A) 0,8c B) c C) 1,7c D) 0,99c E) 0,1c

2. Tinchlikdagi massasi m bo'lgan zarraning 0,6c tezlik bilan harakatlanayotganidagi massasini toping.

- A) 1,83m B) 1,67m C) 1,25m D) 2,78m E) 1,56m

3. Tezligi 0,87c bolgan elektronning massasi uning tinchlikdagi massasidan necha marta katta?

- A) 2,0 B) 2,5 C) 4,0 D) 5,0 E) 10,0

4. Protonning tezligi 240000 km/s. Uning massasi tinch holatdagi massasidan necha marta katta? Yorug'likning bo'shliqdagi tezligi 300000 km/s.

- A) 1,67 B) 0,60 C) 0,48 D) 2,24 E) 1,00

5. Raketa Yerdagi kuzatuvchiga nisbatan 0,9c (c - yorug'lik tezligi) tezlik bilan harakat qilmoqda. Unda zichligi 950 kg/m^3 bo'lgan modda bor. Bu moddaning kuzatuvchiga nisbatan zichligi necha kg/m^3 ?

A) 9500 B) 950 C) 2500 D) 5000 E) 7500

6. Massasi 1 kg bo'lgan jismning to'la energiyasi necha joulga teng?

A) $3 \cdot 10^9$ B) $3 \cdot 10^{16}$ C) $18 \cdot 10^{16}$ D) $9 \cdot 10^{24}$ E) $9 \cdot 10^{16}$

7. Quyoshning umumiy nurlanish quvvati $3,83 \cdot 10^{26} \text{ W}$. Shu nurlanish tufayli, Quyosh har sekundda necha kg massasini yo'qotadi?

A) $22 \cdot 10^{11}$ B) $3,5 \cdot 10^8$ C) $1,7 \cdot 10^8$ D) $15 \cdot 10^{10}$ E) $4,3 \cdot 10^9$

8. Zarracha qanday tezlikda harakatlanganda, uning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasiga teng bo'ladi? c - yorug'likning vakuumdagi tezligi.

A) $0,5c$ B) $0,87c$ C) $0,75c$ D) $0,25c$ E) $1c$

9. Protonning kinetik energiyasi $0,5mc^2$ bo'lsa, uning to'la energiyasi qancha? m_0 - protonning tinchlikdagi massasi.

A) $1,5mc^2$ B) $0,5mc^2$ C) mc^2 D) $2mc^2$ E) $0,25mc^2$

10. Elektron $0,8c$ tezlik bilan erkin harakat qilmoqda. Uning tinchlikdagi energiyasi $0,511 \text{ MeV}$ ga teng. Elektronning kinetik energiyasi qanday (MeV)?

A) $0,511$ B) $0,341$ C) $0,285$ D) $0,1$ E) $1c$

11. Agar harakatlanayotgan elementar zarraning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasidan 7 marta katta bo'lsa, uning massasi tinchlikdagi massasidan necha marta katta bo'ladi?

A) 5 B) 6 C) 7 D) 8 E) 9

12. Massasi 90 t bo'lgan yuk 10 m balandlikka ko'tarilganda, uning massasi qanday o'zgaradi?

A) o'zgarmaydi B) 10^{-10} kg kamayadi C) 10^{10} kg ortadi
D) $5 \cdot 10^{10} \text{ kg}$ kamayadi E) $5 \cdot 10^{10} \text{ kg}$ ortadi

13. 1 kg suv 81 K ga isitilganda, uning massasi qanchaga ortadi (kg)? $c=4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

A) $3,78 \cdot 10^{-12}$ B) $2,8 \cdot 10^{-13}$ C) $8,1 \cdot 10^{-13}$ D) $3,78 \cdot 10^{-13}$ E) $4,2 \cdot 10^{-13}$

14. 1 kg suv 90 K isitilganda, massasi qanday o'zgaradi? Suvning solishtirma issiqlik sig'imi $4,210^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

A) o'zgarmaydi B) $42 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$ ortadi C) $42 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$ kamayadi.
D) $84 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$ ortadi E) $84 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$ kamayadi.

X BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Elektronning tezligi 180000 km/s . Uning massasi tinch holatdagi massasidan necha marta katta? Yorug'likning bo'shliqdagi tezligi 300000 km/s .

2. Jism $0,89c$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Bunda uning zichligi qanday o'zgaradi?

3. Tezligi $0,6c$ bo'lgan zarrachaning kinetik energiyasi uning tinchlikdagi energiyasidan necha marta kichik boladi?

4. Bikrligi 20 kN/m bo'lgan prujinani 30 sm ga cho'zganda, uning massasi qanchaga ortadi?

5. Massasi 20 kg bo'lgan azot o'zgaras bosimda 0 dan 200°C gacha qizdirildi. Bunda azotning massasi qanchaga oshgan? Azotning o'zgaras bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imi $1,05 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$.
6. Ikki zarracha bir-biriga qarab Yerga nisbatan $\beta_1 = 0,5c$ va $\beta_2 = 0,8c$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Ikkinchi zarra bilan bog'langan sanoq sistemasida birinchi zarraning tezligi namaga teng?
7. Tinch turgan chizg'ichning uzunligi $\ell_0 = 1 \text{ m}$. $0,6 c$ tezlik bilan bo'ylama yo'nalishda harakatlanayotgan chizg'ichning uzunligi qancha bo'ladi?
8. Yerga nisbatan $\beta = 0,98c$ tezlik bilan harakatlanayotgan kosmik zarrachaning Yer soati bilan o'lchangan umri t uning xususiy umri t_0 dan necha marta ortiq?
9. Yerga nisbatan $\beta = 0,33c$ tezlik bilan harakatlanayotgan zvezdolyotda $\tau_0 = 50$ yil vaqt o'tdi. Yerdan necha yil vaqt o'tgan?
10. $\beta = 2,4 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ tezlik bilan harakatlanayotgan protonning massasi qanday? Protonning tinchlikdagi massasi $m_0 = 1 \text{ m.a.b.}$ deb hisoblang.
11. Harakatdagi jismning bo'ylama o'lchami n marta qisqarishi uchun u qanday tezlikka erishish kerak?
12. Kosmik nurlar tarkibidagi mezonlar yorug'lik tezligining 95% tezligida harakatlansa, mezon o'lchaminig mo'ylama qisqarishi qanday?
13. Beqaror zarracha yorug'lik tezligining 99% ini tashkil etadi. Uning yashash vaqti Yerdagi kuzutuvchiga nigohida necha marta uzayadi?
14. Yerga tomon β tezlik bilan harakatlanayotgan yulduz tomonidan nurlangan yorug'lik Yerga $c + \beta$ tezlik bilan emas, balki c tezlik bilan yaqinlashishini isbot qiling.
15. Tezlatkich radioaktiv yadroga $1,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ tezlik beradi. Tezlatkichdan chiqish paytida yadro o'z yo'nalishida tezlatkichga nisbatan $2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ tezlikka ega bo'lgan elektron chiqaradi. Elektronning yadroga nisbatan tezligini aniqlang.
16. $\beta = 0,999c$ tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning relyativistik massasi uning tinchlikdagi massasidan necha marta katta bo'ladi?
17. Harakatdagi jismning relyativistik massasi uning tinchlikdagi massasiga nisbatan 20% ga ortdi. Bunda uning uzunligi necha marta qisqargann?
18. Elektron $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Elektronning kinetik energiyasini klassik va relyativistik formulalar bo'yicha hisoblab, natijalarni taqqoslang.
19. Energiyaning IJ o'zgarishi massaning qanday o'zgarishiga olib keladi?
20. Massa elektronning tinch holdagi massasichalik o'zgarishi uchun energiya qanday o'zgarish kerak?

ATOM, YADRO va ZARRALAR FIZIKASI

Qadimgi Yunon faylasufi Demokrit "Tabiatdagi barcha jismlar bo'linmas zarra-atomlardan tashkil topgan" deb aytgan edi. Uzoq vaqtlar davomida fanda atom-materiyaning bo'linmas qismi, "dunyo tuzilishining eng elementar g'ishtchalari" degan fikr hukmronlik qilib keldi. Atom grekcha "atomos" so'zidan olingan bo'lib, "bo'linmas" degan ma'noni anglatadi. Demokrit aytgan atom XIX asrning oxiriga qadar materiyaning oxirgi zarrasi hisoblangan. Atomning ichki tuzilishi haqidagi hozirgi, zamonaviy tasavvurlarga darhol kelingan emas. XIX asr oxirlariga kelganda esa bir qator mashhur tajribalar tufayli atomning murakkab tuzilishi to'g'risidagi fikr anchagina oydinlashib qoldi. Ulardan ba'zilariga to'xtalib o'tamiz:

1. 1896 yilda A.Bekkerel radioaktivlikni kashf etdi va radioaktiv nurlanishlarning fotoplastinkaga ta'sir etishini va ionlashini aniqladi.
2. 1898 yilda P.Kyuri va M.Skladovskaya Kyurilar uran tuzlarining ham radioaktiv xususiyatga ega ekanligini aniqladilar. Shuningdek, ular nurlanish uch xil ko'rinishda bo'lishi va bu nurlanish intensivligi tashqi ta'sirlarga bog'liq emasligini aniqladilar.
3. 1897 yil J.J.Tomson elektronni kashf etdi. 1903 yilda esa o'zining atom modelini tavsiya etdi.
4. 1900 yil Kyuri, E.Rezerford, F.Soddilar radioaktiv nurlanishlardan chiquvchi α -nur ikki marta ionlashgan, β -nur tez elektronlar oqimi, γ -nur esa qisqa elektromagnit to'lqin ekanligini aniqladilar.
5. 1911 yil Rezerford atomning yadro (planetar) modelini taklif etadi.
6. 1913 yilda Daniyalik fizik Nils Bor o'zining uchta postulatini ishlab chiqdi va klassik fizikani mikroolam fizikasiga qo'llab bo'lmasligini ko'rsatib berdi.
7. Bor postulatlarini tekshirish maqsadida Frank va Gers 1913 yilda tajriba o'tkazdi

Ushbu darslikda atom, yadro va zarralar bo'limini 3 qismga bo'lib o'rganamiz:

- Atom fizikasi
- Yadro fizikasi
- Zarralar faizikasi



Umumiy fizikaning so'nggi bo'limi sifatida o'rganiladigan atom, yadro va zarralar fizika bo'limi o'z navbatida nomlanishidan ham ko'rinib turganidek uch qismga bo'linadi. Shulardan atom fizikasi qismi dastlabki bob sifatida o'rganiladi. Bunga tarixiy rivojlanish bosqichi bo'yicha XX asrning boshlarida o'tkazilgan mashhur tajribalar natijasida eng avvalo atomning qo'liga yo'l ochilgani sababdir. Natijada fizikada butunlay yangi yo'nalish paydo bo'ldi. Atom fizikasida tabiatdagi barcha jismlar va moddalarni tashkil qilgan molekulalarni ximiyaviy elementlar – atomlardan tashkil topgan deb o'rganadi. Ushbu bobda atomlarning tuzilishi, har xil energetik sathlar, sathlardagi elektron qobiqlar va bu qobiqlardagi fizik kattaliklar qanday qiymatlar qabul qilishi o'rganiladi.



§ 55. ATOM HAQIDA KLASSIK TASAVVURLARNING RIVOJLANISHI.

Atomning ichki tuzilishi haqidagi hozirgi, zamonaviy tasavvurlarga darhol kelingan emas. XIX asr oxirlariga kelganda esa bir qator mashhur tajribalar tufayli atomning murakkab tuzilishi to'g'risidagi fikr anchagina oydinlashib qoldi. Shulardan bir nechtasini yoritib o'tamiz.

Spektral seriyalar:

Atom tuzilishini o'rganishga jazm qilgan olimlar u haqida ma'lumot olish uchun asosiy diqqatni atom chiziqli spektrini o'rganishga qaratganlar. Buning uchun esa spektr to'lqin uzunliklarini imkoniyat boricha katta aniqlik bilan o'lchash talab etilgan.

Bu o'lchashlar esa odatda spektroskop yordamida amalga oshirilgan. Birinchi o'lchashni atom chiziqli spektri strukturasi o'rgangan Fraunhofer o'tkazgan. Bunda u ko'rish trubasining ikki yarmi, prizma va sigara qutisidan tashkil topgan spektroskopdan foydalangan. Keyingi o'lchashlarda esa bu spektroskop anchagina takomillashtirilgan. Vaqt o'tish bilan u o'z o'rnini difraksion panjaradan tashkil topgan spektroskoplarga bo'shatib berdi. Bunday asbob yordamida bir necha o'n yilliklar davomida turli elementlarning 10 000 dan ortiq spektral chiziqlarining to'lqin uzunliklari katta aniqlik bilan o'lchandi.

Bu ishga birinchi bo'lib Iogann Balmer qo'l urdi va bu sonlar xaosida qandaydir sistemani mavjud ekanligini aniqladi. U vodorod atomi spektrining ko'rinuvchi sohasidagi 4 ta spektral chiziq tartibsiz joylashmasdan, balki ularning joylashishi va to'lqin uzunligi ma'lum bir qonuniyatga bo'ysunishini aniqladi. Balmer bu qonuniyatni spektral seriya deb atadi va uning ifodasini quyidagi ko'rinishda yozdi:

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

Bu erda: n – natural sonlar bo'lib, u 3, 4, 5, 6 qiymatlarni qabul qiladi, B esa doimiy bo'lib, $B = 3645,6 \text{ \AA}$ bo'ladi.

Bu oddiygina munosabat shu darajada aniqki, uni quyidagi jadvaldan ham bilish mumkin.

Chiziqlar	Angstremda o'lchangan to'liqin uzunlik	Balmer hisoblagan to'liqin uzunlik	n
C	6562,1	6562,08	3
F	4860,74	4860,8	4
G	4340,1	4340	5
H	4101,2	4101,3	6

Bu jadvalning birinchi ustunida vodorod atomining spektral chiziqlariga Fraunhofer tomonidan berilgan nomlar, ikkinchi ustunida esa shved fizigi Angstrom tomonidan o'lchangan shu chiziqlarning to'liqin uzunligi, uchinchi ustunida esa ushbu chiziqlarning Balmer formulasi asosida hisoblangan to'liqin uzunligi, beshinchi ustunida esa Balmer formulasiga kirgan va chiziqlarning to'liqin uzunliklarini hisoblashda ishlatilgan n natural sonlar keltirilgan.

Spektr chiziqlari to'liqin uzunliklarining o'lchangan va hisoblangan qiymatlari bir-biri bilan haddan tashqari mos tushadi. Bunday moslik tasodifiy bo'lishi mumkin emas edi. Shu sababli uning bu kashfiyoti bir qator yangi tadqiqotlar seriyasiga olib keldi.

Bu kashfiyotdan boshlab atom haqidagi fanning davri boshlandi. 1886 yilda Runge Balmer formulasi to'liqin uzunligi orqali emas, balki uning chastotasi orqali yanada aniqroq bo'lishini ko'rsatib o'tdi va shu formulani quyidagi ko'rinishda yozishni taklif qildi:

$$\nu = \frac{4c}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$$

1890-yilda esa shved fizigi Ridberg ushbu formulani quyidagicha yozdi:

$$\nu = cR_{\lambda} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Bu yerda: n va k – natural sonlardir. $R_{\lambda} = 10967759,37 \text{ m}^{-1}$ esa vodorod atomi uchun to'liqinli Ridberg doimiysi deb ataldi (vodorod atomi uchun chastotali Ridberg doimiysi esa $R_{\nu} = R_{\lambda} c = 10967759,37 \text{ m}^{-1} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 3,29032 \cdot 10^{15} \text{ Gs}$ bo'ladi). Ushbu formula umumlashgan Balmer formulasi deyiladi. Agar $k=2$ bo'lsa, vodorod atomi spektrining ko'rinuvchi sohasini harakterlovchi, tajribada tasdiqlangan Balmer seriyasi, ya'ni Balmer formulasi hosil bo'ladi. Bu formula yordamida $n=50$ gacha bo'lgan spektral chiziqlarning to'liqin uzunliklari aniqlangan.

Keyingi tadqiqotlarda vodorod atomi spektrining ultrabinafsha sohasini xarakterlovchi spektral chiziqlarning chastotasi ham quyidagi qonuniyatga bo'ysunishi aniqlandi:

$$\nu = cR_{\lambda} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Bu yerda: $n=2, 3, 4, \dots$ qiymatlarni qabul qiladi. Ushbu ifoda Layman seriyasi deb ataldi.

Xuddi shunga o'xshash vodorod atomi spektrining infraqizil sohasini xarakterlovchi spektral chiziqlarning chastotasi quyidagi qonuniyatlarga bo'ysunishi aniqlandi:

$$\nu = cR_{\lambda} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 4, 5, 6, 7, 8, \dots),$$

$$\nu = cR_{\lambda} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 5, 6, 7, 8, \dots),$$

$$\nu = cR_{\lambda} \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 6, 7, 8, \dots),$$

$$\nu = cR_{\lambda} \left(\frac{1}{6^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 7, 8, \dots).$$

Birinchi formula Pashen seriyasi, ikkinchi formula Breket seriyasi, uchinchi formula Pfund seriyasi va oxirgisi esa Xemfri seriyasi deyiladi.

Shundan so'ng umumlashgan Balmer formulasini ikki sonning ayirmasi ko'rinishida yozib olish taklif etildi va bu sonlarni spektral termlar deb ataldi:

$$\nu = \frac{cR_{\lambda}}{k^2} - \frac{cR_{\lambda}}{n^2} = T(k) - T(n)$$

Ko'rinishidan bu ifoda hech qanday ma'noga ega emasdek tuyuladi. 1908 yili shveysariya olimi Rits ushbu ifodani ma'nosini tushuntirib berdi. Ridberg ishini davom ettirgan Rits u asosida kombinatsion prinsipni ta'riflab berdi: istalgan atom spektridagi ixtiyoriy chiziq chastotasini ikki termning ayirmasi shaklida yozish mumkin. Bunday ayirmani spektral termni oddiy ko'rinishda (xuddi vodorod atomidek) ifodalash mumkin bo'lganida ham yozish mumkin bo'ladi.

Bunday qaralganida umulashgan Balmer formulasidan kombinatsion prinsipga o'tishda hech qanday foyda yo'qdek ko'rinadi. Lekin bunaqa emas. Bu yerda sonlar soni ancha qisqardi. Masalan, vodorodning 50 ta spektral chizig'i chastotasini aniqlashda 50 ta emas, balki 10 ga yaqin spektral termlarni bilish yetarli bo'ladi.

Demak, vodorod atomining tartibsiz spektral chiziqlar to'plami tartibli spektral seriyalarga ajraldi. Ana endi ularni tushuntirish zarur edi. Bu ishni esa 1913 yili Bor amalga oshirdi. U vodorod atomining klassik nazariyasini ishlab chiqdi va spektral seriyalarning paydo bo'lishini tushuntirib berdi. Shu bilan esa kvant nazariyaga asos qo'yildi. Bundan esa kvant nazariyani boshlanishida spektral seriyalar katta o'rin tutganligini ko'rish mumkin bo'ladi.

Tomsonning atom modeli:

1903 yilda Tomson atomning shunday bir modelini taklif etdiki, unga asosan atom musbat elektr bilan bir tekis to'ldirilgan sferadan iborat bo'lib, ichida elektron joylashgan bo'ladi (55.1-rasm). Sferaning yig'indi musbat zaryadi elektron zaryadiga teng bo'lib, atom bir butun holda neytraldir. Tomson moleliga ko'ra atom massasi uning butun hajmi bo'yicha bir tekis taqsimlangan bo'lib, atomning ichki qismida sirtidagidan ko'ra kuchsizroq elektr maydoni ham mavjud.

Izolyatsiyalangan atom chiqarayotgan spektr xarakterini tushuntirish uchun nurlanayotgan atomdagi elektron garmonik tebranma harakat qiladi va demak, muvozonat holat atrofida $F = -\alpha r$ ko'rinishdagi kvazielastik kuch bilan tutib turiladi deb faraz qilish lozim edi. Bunda r – elektronning muvozonat holatdan chetlanishi.

Bir tekis zaryadlangan sfera ichidagi maydon kuchlanganligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$E(r) = k \frac{e}{R^3} \cdot r \quad (0 \leq r \leq R)$$

Bu yerda: e —sfera zaryadi, R —uning radiusi;

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{N \cdot m^2}{Kl^2} \right] \text{ — proporsionallik koeffitsientini;}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{Kl^2}{N \cdot m^2} \right] \text{ — elektr doimiysi.}$$

Demak, muvozonat holatidan r oraliqdagi turgan elektronga quyidagi kuch ta'sir qiladi.

$$F = (-e)E = -k \frac{e^2}{R^3} \cdot r = -\alpha r$$

Bunday sharoitda muvozonat holatdan biror yo'l bilan chiqarilgan elektron v chastota bilan tebranadi.

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\alpha}{m_e}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k e^2}{m_e R^3}}$$

Bu yerda: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ — elektron massasi.

Oxirgi munosobatdan atomning o'lchamini aniqlash mumkin.

$$R = \sqrt[3]{\frac{k e^2}{4\pi^2 v^2 m_e}}$$

$\lambda = 600 \text{ nm}$ to'lqin uzunligiga (spektrning ko'rinuvchi sohasi) $v = 5 \cdot 10^{14} \text{ Gs}$ chastota mos keladi.

$$R = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{4\pi^2 \cdot (5 \cdot 10^{14})^2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}} = \sqrt[3]{\frac{2,304 \cdot 10^{-28}}{8,981}} = 2,95 \cdot 10^{-10} \text{ m} \approx 3 \text{ \AA}$$

Olingan qiymat tartibi bo'yicha atomning gazokinetik o'lchamiga to'g'ri kelib, uni Tomson modelining tasdig'i deb ham qarash mumkin edi. Lekin, keyinchalik bu modelning yaroqsizligi aniqlandi. Shuning uchun, hozirgi vaqtda u faqat atomlar tuzilishi haqidagi taraqqiyot zanjiridagi zvenolardan biri sifatida tarixiy ahamiyatga ega.

Rezerfordning α -zarralarning sochilishi bo'yicha qilgan tajribalari:

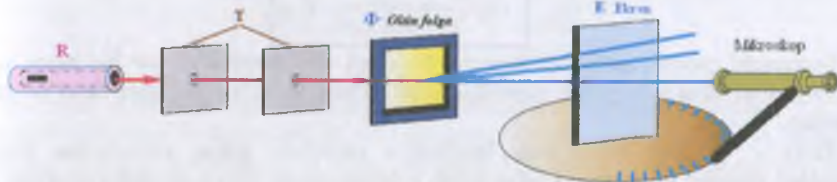
Atomda musbat va manfiy zaryadlarning taqsimlanishini o'rganish uchun atomning ichki sohasini "zondlash" zarur edi. Bunday "zondlash"ni Rezerford va uning xodimlari α -zarrachalarning yupqa qatlamli uchib o'tayotganda yo'nalishini o'zgartirishini kuzatib amalga oshirdi. Rezerford o'z tajribalarini o'tkazgan paytda α -zarrachalar ikkilangan elementar musbat zaryadga ega ekanligi va o'z zaryadini yo'qotganda (o'ziga ikkita elektron biriktiganda) neytral He atomiga aylanishi ma'lum edi. Radioaktiv moddadan α -zarrachalarning uchib chiqish tezligi 10^7 m/s tartibida.

Tajriba quyidagicha amalga oshirildi (55.2-rasm). Qo'rg'oshin parchasidagi kovakga R radioaktiv modda kiritilgan bo'lib, u α -zarralarning manbai bo'lib xizmat qiladi. α -zarralar tashqariga faqat kichkina tirqish orqali chiqa oladi. α -zarralarning ingichka dastasi yo'lga F yupqa metal zar (oltin folga) qo'yilgan. α -zarrachalar folgadan o'tganlarida turli α burchaklarga og'adi. Sochilgan zarralar rux sulfid surtilgan E ekranga borib urilib ssintilyasiyalar (chaqnashlar) hosil qiladi. Bu chaqnashlar M mikroskop



55.1-rasm

orqali kuzatiladi. Mikroskop bilan ekranni sochuvchi zar markazidan o'tuvchi o'q atrofida aylantirish va istalgan α burchakka o'rnatish mumkin. α -zarralar havo molekulari bilan to'qnashmasligi uchun butun qurilma havosi so'rib olingan g'ilo'f ichiga joylashtirilgan.



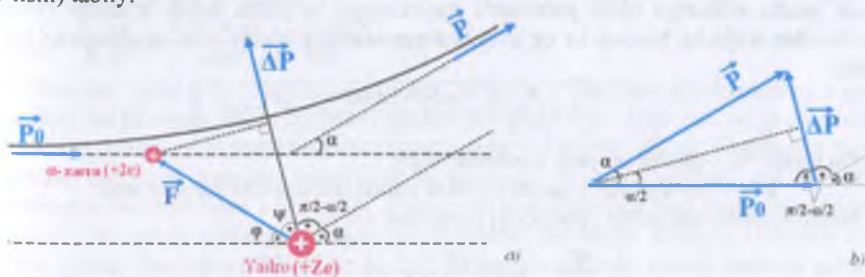
55.2-rasm

Ma'lum miqdordagi α -zarrachalar juda katta (deyarli 180°) burchakka sochilganligi ma'lum bo'ldi. Tajriba natijalarini tahlil qilib, Rezerford quyidagi xulosaga keldi: α -zarralarning bunday katta burchakka og'ishi faqat atomning ichida juda kichik hajmda to'plangan, juda katta massali zaryadning haddan tashqari kuchli elektr maydoni tufaylidir. Bu xulosaga asoslanib, 1911 yil Rezerford atomning yadro modelini taklif etadi. Uning tasavvuri bo'yicha atom markazida Ze musbat zaryadli, o'lchami 10^{-14} m dan oshmaydigan og'ir yadro joylashgan, yadro atrofida atom egallagan butun hajm bo'yicha z dona elektron bo'lgan zaryadlar sistemasidan iborat. Atomning deyarli barcha massasi yadroda mujassamlashgan.

Rezerford bu tasavvurlarga ko'ra α -zarralarning sochilish nazariyasini ishlab chiqdi, sochilgan zarralarning α burchak bo'yicha taqsimlanish formulasini keltirib chiqardi. α -zarralar atom yadrolarining ta'siri tufayli og'gan. Elektronlar bilan o'zaro ta'sir natijasida katta og'ish yuzaga kelish mumkin emas, chunki elektronning massasi α -zarranikidan taxminan 7500 marta kichik. Zarra yadro yaqinidan uchib o'tayotganida unga quyidagi Kulon kuchi ta'sir qiladi.

$$F = \frac{2Zke^2}{r^3} [N], \quad k = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{N \cdot m^2}{Kl^2} \right]$$

Zarraning bu holdagi trayektoriyasi asimptotalari o'zaro α burchak hosil qiluvchi giperboladan iborat bo'ladi. Yadrodan α -zarralarning boshlang'ich yo'nalishigacha bo'lgan b masofa **nishonga olish parametri** deyiladi. Zarra yadroga qanchalik yaqin o'tsa, (b qanchalik kichik bo'lsa), uning shunchalik kuchli og'ishi (α ning shunchalik katta bo'lishi) tabiiy.



55.3-rasm

Impulsning saqlanish qonuniga ko'ra zarraning yadroda sochilishidan avvalgi impuls p_0 , sochilib yadrodan uzoqlashgandagi impuls p ga teng, ya'ni $p = p_0$ (55.3-a,b rasm).

Rezerford impulsning saqlanish qonunidan foydalani, b va α lar orasidagi bog'lanishni quyidagicha aniqladi, ya'ni α -zarraning sochilish burchagini aniqladi.

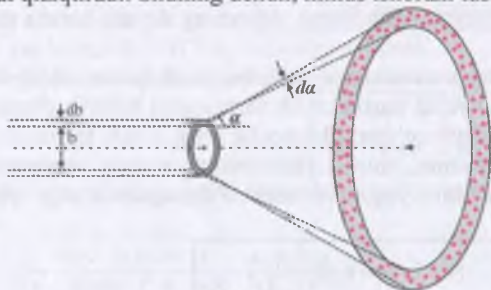
$$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{m_{\alpha} g^2}{2 Z k e^2} \cdot b$$

Sochuvchi modda qatlamini shunchalik yupqa deb qaraylikki, har bir zarra undan o'tayotganida faqat bitta yadro yaqinidan uchib o'tsin, ya'ni har bir zarra faqat bir marta sochilsin.

Zarra α va $\alpha-d\alpha$ oralig'idagi burchakka sochilishi uchun yadrolardan birining yaqinidan shunday trayektoriya bilan uchib o'tsinki, uning nishonga olish parametri b va $b+db$ oralig'iga to'g'ri kelsin (55.4-rasm). Bunda $d\alpha$ va db lar yuqoridagi formulaga ko'ra quyidagicha bog'langan:

$$-\frac{1}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{d\alpha}{2} = \frac{m_{\alpha} g^2}{2 Z K e^2} \cdot db$$

Bu ifodadagi minus ishora b ning ortishi bilan ($db > 0$) α ning kamayishi natijasida paydo bo'lgan. Kelgusida bizni faqat db ning α va $d\alpha$ ga bog'liq funksiyasidagi absolyut qiymat qiziqtiradi. Shuning uchun, minus ishorani tushirib qoldirishimiz mumkin.



55.4-rasm



55.5-rasm

α -zarralar dastasining ko'ndalang kesim yuzini S harfi bilan belgilaymiz. Unda sochuvchi folganing dasta yo'lidagi atomlar soni $N_{at} = n S d$ bo'ladi. n - atomlar konsentratsiyasi, d - folganing qalinligi. Agar α -zarralar dastasining qalinligi dastasining kesimi bo'yicha bir tekis taqsimlangan bo'lsa, yadrolarning birining yaqinidan b dan $b+db$ gacha nishonga olish parametrlari trayektoriya bo'yicha uchib o'tuvchi (demak, $\alpha-d\alpha$ dan α gacha burchakka og'uvchi) α -zarralarning nisbiy soni quyidagicha (55.5-rasm):

$$\frac{dN_{\alpha}}{N_{\alpha}} = \frac{N_{at} \cdot S_{\alpha}}{S} = \frac{n S d \cdot 2 \pi b db}{S} = n d 2 \pi b db$$

Bu yerda: N_{α} - dastadagi jami α -zarralar soni;

dN_{α} - $\alpha-d\alpha$ dan α gacha burchak ostida sochiluvchi zarralar soni.

Hisob-kitoblar natijasida yuqoridagi formulani ushbu

$$\frac{dN_{\alpha}}{N_{\alpha}} = n d \cdot \left(\frac{2 Z K e^2}{m_{\alpha} g^2} \right)^2 \cdot \frac{2 \pi \sin \alpha d\alpha}{4 \sin^4 \frac{\alpha}{2}}$$

ko'rinishga keltiramiz.

Nihoyat, elementar fazoviy burchak $d\Omega = \frac{dS}{r^2} = \frac{2\pi b db}{r^2} = \frac{2\pi (r \sin \alpha) \cdot (r d\alpha)}{r^2} = 2\pi \sin \alpha d\alpha$ ekanini hisobga olsak, α -zarralarning nisbiy soni quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{dN_\alpha}{N_\alpha} = n d \cdot \left(\frac{2Zke^2}{m_\alpha g^2} \right)^2 \cdot \frac{d\Omega}{4 \sin^4 \frac{\alpha}{2}}$$

Bu ifoda α -zarralarning sochilishi uchun **Rezerford formulasi** deyiladi. 1913-yil Rezerford xodimlari bu formulani bir xil vaqt oraliq'ida turli α burchak ostida kuzatilgan ssintillya sonlarini hisoblash yo'li bilan tekshirish o'tkazdilar. Tajriba sharoitida (55.2-rasm) bir xil (E ekran yuzi va uning zardan uzoqligi bilan aniqlanadigan) fazoviy burchak oraliq'idagi α -zarralar hisoblandi. Shuning uchun, turli burchak ostida kuzatilgan ssintillyasiya soni Rezerford formulasiga asosan $1/\sin^4 \frac{\alpha}{2}$ ga proporsional bo'lishi kerak.

Nazariyaning bu natijasi tajribada tasdiqlandi. Sochilishning folga qalinligi va α -zarraning tezligiga bog'liqligi ham Rezerford formulasiga mos keldi.

α -zarra bilan atom yadrosi orasidagi Kulon ta'siriga asoslangan nazariyaning to'g'riligi hatto orqaga otib tashlangan α -zarra atomning musbat zaryadlangan sohaga kira olmasligini tasdiqlaydi (biz Tomson modelini ko'rganimizda o'zaro ta'sir kuch $2Zke^2/r^2$ o'rniga $2Zke^2r/R^3$ bilan aniqlanishini ko'rgandik). Shuningdek, aniq yadroga qarab yo'nalgan α -zarra uning markazigacha shunday bir masofagacha yaqin kelishi mumkinki, uni α -zarraning kinetik energiyasini uning to'liq to'xtagan momentidagi yadro bilan o'zaro ta'sir potensial energiyasiga tenglab topish mumkin.

$$\frac{m_\alpha g^2}{2} = \frac{2Zke^2}{r_{\min}}$$

Bu yerda: $r_{\min}$ – α -zarra va yadro markazlari orasidagi minimum masofa;

$m_\alpha = 4 \text{ m.a.b} = 6,44 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ – α -zarraning massasi.

Masalani oltin zar uchun $Z=79$ va α -zarraning tezligi $g_\alpha = 10^7 \text{ m/s}$ bo'lgan hol uchun ishlaylik.

$$r_{\min} = \frac{4Zke^2}{m_\alpha g^2} = \frac{4 \cdot 79 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}}{6,444 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{14}} \approx 1,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Agar xuddi shu masalani alyuminiy uchun ($Z=13$) ishlasak, quyidagi echimga ega bo'lamiz:

$$r_{\min} = \frac{4Zke^2}{m_\alpha g^2} = \frac{4 \cdot 13 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}}{6,444 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{14}} \approx 1,8 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

Shunday qilib, α -zarralarning sochilishi bo'yicha o'tkazilgan tajribalarining natijasi Rezerford taklif etgan atomning yadro modeli foydasiga hal bo'ldi. Lekin, yadro modeli klassik mexanika va elektrodinamika qonunlariga zid bo'lib chiqdi. Harakatsiz turgan zaryadlar sistemasi turg'un holatda bo'la olmaydi. Shuning uchun ham Rezerford atomning statik modelidan voz kechib, elektronlar yadro atrofida berk traektoriya bo'ylab aylanadi deb taxmin qilishga majbur bo'ldi. Lekin, bu holda elektron tezlanish bilan harakat qiladi. Shu munosabat bilan klassik elektrodinamikaga asosan elektron uzluksiz ravishda elektromagnit to'lqinlari (yorug'lik) nurlab turishi lozim. Nurlanish jarayoni esa energiya sarflash bilan sodir bo'ladi. Demak, elektron bora-bora elektronga qulab tushishi kerak (55.6-rasm). Nyuton va Maksvell qonunlariga asoslangan mutlaqo aniq hisoblashlar elektronning haddan tashqari qisqa (10^{-15} s) vaqt oraliq'ida yadrga qulashi lozim ekanini



ko'rsatdi. Natijada atom yo'qolishi kerak. Lekin, ahvol bunday bo'lmasdan, balki atom istalgancha uzoq vaqt turg'undir.

Rezerford atomning planetar modelini yaratdi: elektronlar yadro atrofida xuddi planetalar Quyosh atrofida aylangani kabi aylanadilar. Bu model atomlarning barqarorligini tushuntirib bera olmadi. Lekin, shunday bo'lsa-da uning ishlari olamshumul edi.



1. Balmer ko'rinishi sohada 4ta spektr to'lqin uzunligini aniqlash uchun qaysi formulani taklif etdi? Bunda B doimiyni nimaga teng deb oldi?
2. 1886-yil Runge Balmer formulasini chastota orqali ifodalovchi qaysi formulani taklif etdi?
3. 1890-yil shved fizigi Ridberg Runge formulasini yanada umumiyroq bo'lgan qaysi ko'rinishga keltirdi?
4. Laymen, Bakmer, Pashen, Breket, Pfund seriyalari uchun Ridberg formulasidan qaysi formulalar kelib chiqadi?
5. Tomson modelini tushuntirib bering. Atom o'lchamini aniqlashga imkon beradigan qaysi formulani keltirib chiqardi?
6. Tomson modelida elektronni qanday kuchtebranma harakatga keltiradi? Tomson modelining kamchiliklarini sanab bering.
7. Rezerfordning sochilish burchagini aniqlovchi formulasini yozing.
8. α -zarralarning sochilishi uchun Rezerford formulasini yozing.
9. Rezerford modelining kamchiliklarini sanab bering.

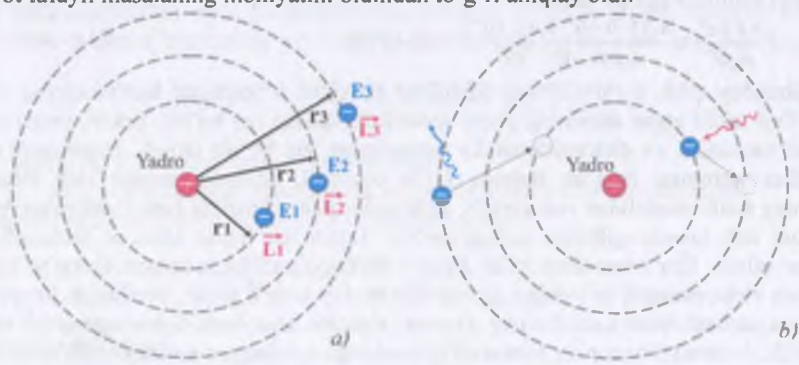


§ 56. BOR POSTULATLARI VA ULARDAN KELIB CHIQUADIGAN NATIJALAR

Bor postulatları:

Atomning Rezerford taklif etgan modelida klassik mexanika va elektrodinamika bilan birga na atomning turg'un ekanligini va na atom spektrining xarakterini tushuntirishga qodir emasligi aniqlandi. Atom nazariyasida nihoyatda mushkul vaziyatdan qutulish yo'lini 1913 yilda Daniyalik buyuk fizik Nils Bor tabiatdagi jarayonlar haqidagi kvant tasavvurlarni yanada rivojlantirish natijasida ko'rsatib berdi.

Eynshteyn Bor qilgan bu kashfiyotni "tafakkur olamidagi eng oliy qobiliyat mevasi" deb baholagan. Turli-tuman tajriba dalillariga asoslangan holda Bor buyuk bir ichki hissiyot tufayli masalaning mohiyatini oldindan to'g'ri aniqlay oldi.



56.1-rasm

Biroq Bor atomning izchil nazariyasini bera olmadi. U yangi nazariyaning asosiy qoidalarini postulatlar tarzida ifodaladi. Shu bilan birga Bor klassik fizika qonunlarini ham shaksiz rad etgani yo'q. Klassik fizika yo'l qo'yadigan ba'zi urinish-harakatlarga chek qo'ydi xolos.

Shunga qaramay, Bor nazariyasining muvaffaqiyatlari ajoyib edi va u nazariyani rivojlantirishning to'g'ri yo'lini topgan edi. Bu yo'l keyinchalik mikrozararlar harakatining mukammal nazariyasi—kvant mexanikasining yaratilishiga olib keldi.

Borning qilgan farazi u ta'riflagan quyidagi uchta postulatda o'z mazmunini topdi (56.1-rasm).

Birinci postulat:

Atom sistemasi har biriga muayyan E_n energiya mos keladigan alohida statsionar yoki kvant holatlardagina bo'la oladi. Atom statsionar holatning o'zida nur chiqarmaydi yoki yutmaydi.

Bu postulat klassik mexanikaga tamoman ziddir. Klassik mexanikaga ko'ra harakatlanayotgan elektronning energiyasi har qanday bo'lishi mumkin. Klassik mexanika nuqtai-nazaridan mumkin bo'lgan cheksiz ko'p elektron orbitalaridan haqiqatda ba'zi kvant shartlarni qanoatlantiruvchi diskret orbitalargina mavjud bo'la oladi. Bu postulat Maksvell elektrodinamikasiga ham ziddir, chunki bu postulatga ko'ra elektronlar elektromagnit to'lqin chiqarmasdan ham tezlanish bilan harakatlanishi mumkin.

Ikkinchi postulat:

Atom katta energiyali E_m statsionar holatdan kam energiyali E_n statsionar holatga o'tganda yorug'lik nurlanadi. Nurlangan fotonning energiyasi statsionar holatlar energiyalarining farqiga teng.

$$h\nu = E_m - E_n$$

Nurlanayotgan chiziqli chastotasi quyidagicha bo'ladi:

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h}$$

Nur yutilganda elektron kam energiyali statsionar holatdan katta energiyali statsionar holatga o'tadi va aksincha nur chiqarganda tepadan pastga tushadi.

Ikkinchi postulat Maksvell elektrodinamikasiga ziddir, chunki bu postulatga ko'ra, yorug'likning nurlanish chastotasi elektron harakatlarning xususiyatlarini emas, balki atom energiyasining o'zgarishini bildiradi.

Uchinchi postulat:

Atomdagi elektronning impuls momenti diskret qiymatlarga ega.

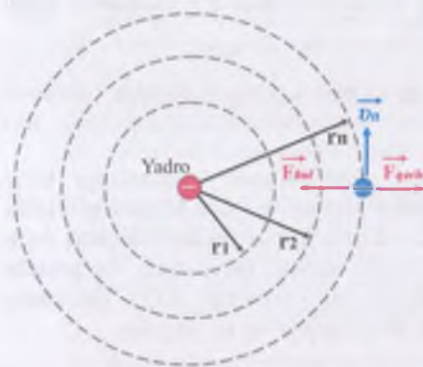
$$L = n\hbar \quad \text{yoki} \quad m\mathcal{R}r = n\hbar \quad [kg \cdot m^2/s = J \cdot s]$$

Bu postulat ham klassik mexanika qonunlariga zid. Chunki, klassik mexanikaga ko'ra aylanma harakat qilayotgan jismning impuls momenti ixtiyoriy qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Uchinchi postulatga ko'ra esa impuls momenti cheksiz ko'p qiymatlardan faqatgina tanlangan qiymatlarigina, ya'ni $\hbar$ ga karrali qiymatlarigina qabul qilishi mumkin ekan.

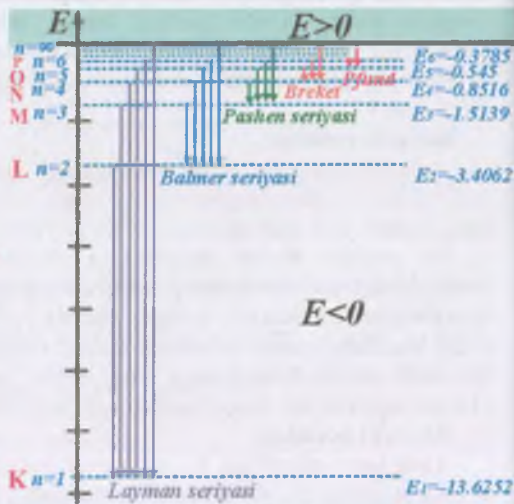
Bor postulatlaridan kelib chiqadigan natijalar:

Agar atomning energiyasi minimal bo'lsa, elektron yadroga eng yaqin birinchi orbita bo'ylab harakat qiladi. Atomning bu holatini *qo'zg'almagan holat* yoki *asosiy holat* deyiladi. Bu holda elektron yadro bilan eng mustahkam bog'langan bo'ladi. Atom qo'shimcha energiya qabul qilganda qo'zg'algan holatga o'tadi. Bu vaqtda uning elektroni

birinch orbitadan boshqa, yadrodan uzoqroq orbitalarning biriga o'tib, o'sha yerda harakat qiladi. Qo'zg'algan atomning energiyasi qo'zg'almagan atomning energiyasidan ortiqdir. Lekin, atomning qo'zg'algan holati nixoyatda qisqa muddatlidir. Sekundning yuz milliondan bir ulushi qadar kichik vaqt oraliq'ida quyiroyq biror orbitaga yoki asosiy orbitaga o'tadi.



56.1-rasm



56.3-rasm

Bor nazariyasining uchinchi postulatiga muvofiq kvantlangan orbita bo'ylab harakat qilayotgan elektronning impuls momenti $L = m \cdot g \cdot r$ kattalik jihatidan $\hbar = h/(2\pi)$ ga karali bo'ladi.

$$m \cdot g \cdot r = n \frac{\hbar}{2\pi}$$

Vodorod atomi uchun Bor nazariyasidan juda ko'p natijaviy formulalar keltirib chiqarish mumkin. Chalkashliklarga yo'l qo'ymaslik uchun har bir formulani raqamlab boramiz.

1) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish radiusini hisoblab topish mumkin.

3-postulatga ko'ra impuls moment kvantlangan, ya'ni $L = m \cdot g \cdot r = n \frac{\hbar}{2\pi}$. Bundan

tezlik $g = \frac{n \hbar}{r m_e}$ (*) bo'ladi. Elektron orbita bo'ylab harakatlanayotganda, markazdan

qochuvchi kuch kulon kuchiga teng bo'ladi. $\frac{m_e \cdot g^2}{r} = \frac{k e^2}{r^2}$. Bunga (*)ni qo'yamiz.

$$\frac{m_e \cdot n^2 \hbar^2}{r^2 m_e^2} = \frac{k e^2}{r^2}, \rightarrow r = n^2 \frac{\hbar^2}{k m_e e^2} = n^2 r_H.$$

Bu yerda $r_H = \frac{\hbar^2}{k m_e e^2} = \frac{(1,05456 \cdot 10^{-34})^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^2} = 5,291 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 5,291 \text{ \AA}$ elektronning

$n=1$ uyg'onmagan holatdagi 1-statsionar orbita radiusi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n -energetik sathdagi aylanish radiusi r quyidagicha bo'lar ekan ($a=r_{1H}$ —uyg'onmagan vodorod atomida elektronning aylanish radiusi):

$$r = n^2 r_{1H}, \quad a = r_{1H} = \frac{\hbar^2}{k m_e e^2} = 0,5291 \left[\frac{\text{Å}}{\text{Å}} \right] \quad (1)$$

2) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish tezligini hisoblab topish mumkin.

(1) formulani (*)ga qo'yib, elektronning ixtiyoriy n -statsionar orbitadagi tezligini topamiz.

$$g = \frac{n \hbar}{r m_e} = \frac{n \hbar}{n^2 a m_e} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\hbar}{a m_e} = \frac{g_{1H}}{n}$$

Bu yerda $g_{1H} = \frac{\hbar}{a m_e} = \frac{\hbar}{m_e} \cdot \frac{k m_e e^2}{\hbar^2} = \frac{k e^2}{\hbar} \cdot \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^2}{1,05456 \cdot 10^{-34}} = 2190266,624 \text{ m/s} \approx 2190,27 \text{ km/s}$ qiymat uyg'onmagan elektron uchun aylanish.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n -energetik sathdagi aylanish tezligi g quyidagicha bo'lar ekan (g_{1H} —uyg'onmagan vodorod atomida elektronning aylanish tezligi):

$$g = \frac{v_{1H}}{n}, \quad g_{1H} = \frac{k e^2}{\hbar} \approx 2190,27 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$

3.1) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish chastotasini hisoblab topish mumkin.

Elektronning aylanish chastotasi $g = 2\pi \nu r$ formuladan topiladi, ya'ni

$$\nu = \frac{g}{2\pi r} = \frac{g_{1H}/n}{2\pi n^2 a} = \frac{1}{n^3} \cdot \frac{g_{1H}}{2\pi a} = \frac{\nu_{1H}}{n^3}$$

bo'ladi. Bu yerda elektronning uyg'onmagan holatdagi aylanish chastotasi

$$\nu_{1H} = \frac{g_{1H}}{2\pi a} = \frac{\frac{k e^2}{\hbar}}{2\pi \frac{\hbar^2}{k m_e e^2}} = \frac{m_e k^2 e^4}{2\pi \hbar^3} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (9 \cdot 10^9)^2 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^4}{2 \cdot 3,1416 \cdot (1,05456 \cdot 10^{-34})^3} = 6,58846 \cdot 10^{15} \text{ Hz bo'ladi.}$$

Demak, vodorod atomidagi elektronning n -energetik sathdagi aylanish chastotasi ν quyidagicha bo'lar ekan (ν_{1H} —uyg'onmagan vodorod atomida elektronning aylanish chastotasi):

$$\nu = \frac{\nu_{1H}}{n^3}, \quad \nu_{1H} = \frac{m_e k^2 e^4}{2\pi \hbar^3} = 2 R_\nu = 6,58846 \cdot 10^{15} \left[\frac{\text{Hz}}{\text{Hz}} \right] \quad (3.1)$$

3.2) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish davrini hisoblab topish mumkin.

Buni $T=1/\nu$ va (3.1) formulalardan foydalanib topish mumkin bo'ladi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n -energetik sathdagi aylanish davri T quyidagicha bo'lar ekan (T_{1H} —uyg'onmagan vodorod atomida elektronning aylanish davri):

$$T = n^3 T_{1H}, \quad T_{1H} = \frac{2\pi\hbar^3}{m_e k^2 e^4} = \frac{1}{2R} = 1,517805 \cdot 10^{-16} \text{ [s]} \quad (3.2)$$

3.3) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi burchak tezligini hisoblab topish mumkin.

Buni $\omega = 2\pi\nu$ va (3.1) formulalardan foydalanib topish mumkin bo'ladi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n -energetik sathdagi burchak tezligi ω quyidagicha bo'lar ekan (ω_{1H} -uyg'onmagan vodorod atomida elektronning burchak tezligi):

$$\omega = \frac{\omega_{1H}}{n^3}, \quad \omega_{1H} = \frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^3} = 4\pi R_1 = 4,139661 \cdot 10^{16} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (3.3)$$

4.1) Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi kinetik energiyani hisoblab topish mumkin.

Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy n -sathdagi kinetik energiyasini topish uchun hammamizga ma'lum bo'lgan formuladan foydalanamiz.

$$E_K = \frac{m_e g^2}{2} = \frac{m_e}{2} \left(\frac{g}{n} \right)^2 = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{m_e g^2}{2} = \frac{E_{K1H}}{n^2}$$

Bu yerda

$$E_{K1H} = \frac{m_e g_{1H}^2}{2} = \frac{m_e}{2} \cdot \left(\frac{k e^2}{\hbar} \right)^2 = \frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (9 \cdot 10^9)^2 (1,602 \cdot 10^{-19})^4}{2(1,05456 \cdot 10^{-34})^2} = 21,827568 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 13,6252 \text{ [eV]}$$

elektronning 1-orbitadagi kinetik energiyasi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n -energetik sathdagi kinetik energiyasi E_K quyidagicha bo'lar ekan (E_{K1H} -uyg'onmagan vodorod atomida elektronning kinetik energiyasi):

$$E_K = \frac{E_{K1H}}{n^2}, \quad E_{K1H} = \frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} = 13,6252 \text{ [eV]} \quad (4.1)$$

4.2) Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi potensial energiyani hisoblab topish mumkin.

Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy n -sathdagi potensial energiyasini topish uchun hammamizga ma'lum bo'lgan formuladan foydalanamiz.

$$E_P = -\frac{k e^2}{r} = -\frac{k e^2}{n^2 a} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{k e^2}{a} = \frac{E_{P1H}}{n^2}$$

Bu yerda

$$E_{P1H} = -\frac{k e^2}{a} = -\frac{k e^2}{\frac{\hbar^2}{k m_e e^2}} = -\frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^2} = -\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (9 \cdot 10^9)^2 (1,602 \cdot 10^{-19})^4}{(1,05456 \cdot 10^{-34})^2} = 43,655136 \cdot 10^{-19} \text{ J} = -27,2504 \text{ [eV]}$$

elektronning 1-orbitadagi potensial energiyasi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy n -energetik sathdagi potensial energiyasi E_P quyidagicha bo'lar ekan (E_{P1H} - uyg'onmagan vodorod atomida elektronning potensial energiyasi):

$$E_p = \frac{E_{p1,H}}{n^2}, \quad E_{p1,H} = -\frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^2} = -27,2504 \text{ [eV]} \quad (4.2)$$

4.3) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi to'la energiyasini hisoblab topish mumkin.

Elektronning umumiy energiyasini uning kinetik va potensial energiyalari yig'indisi tashkil etadi. Uyg'onmagan orbitada to'la energiya

$$E_1 = E_{K1,H} + E_{P1,H} = \frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} - \frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^2} = -\frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} = -E_{K1,H} = -13,6252 \text{ eV}$$

bo'ladi. Ixtiyoriy sathda esa

$$E = E_K + E_P = \frac{1}{n^2} E_{K1,H} + \frac{1}{n^2} E_{P1,H} = \frac{1}{n^2} (E_{K1,H} + E_{P1,H}) = \frac{1}{n^2} \cdot E_{1,H}$$

bo'ladi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n -energetik sathdagi umumiy energiyasi E quyidagicha bo'lar ekan ($E_{1,H}$ -uyg'onmagan vodorod atomida elektronning umumiy energiyasi):

$$E = \frac{E_{1,H}}{n^2}, \quad E_{1,H} = -\frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} = -13,6252 \text{ [eV]} \quad (4.3)$$

5) Yuqoridagi (4.1), (4.2), (4.3) ifodalardan kinetik energiya miqdor jihatidan umumiy energiyaga teng ekanligi hamda potensial energiya esa umumiy energiyadan 2 marta katta ekanligi kelib chiqadi.

$$\begin{cases} E_K = -E = -\frac{1}{2} E_P \\ E_P = 2E = -2E_K \end{cases} \quad (5)$$

(4) va (5) ifodalardan quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

Atom energiya yutganda elektron quyi energetik sathdan yuqori energetik sathga o'tadi.

Elektron quyi orbitadan yuqori orbitaga o'tganda, elektronning kinetik energiyasi kamayadi, potensial energiyasi oshadi, umumiy energiyasi ham oshadi.

6.1) Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy energetik sathdan boshqasiga o'tganda nurlanadigan to'liqin chastotasini hisoblab topish mumkin.

Borning 2-postulatiga ko'ra chiqarilgan yoki yutilgan yorug'lik kvanti statsionar holatlardagi energiyalari farqiga teng, ya'ni $h\nu = E_m - E_n$ bo'ladi. Bundan nurlangan kvant chastotasi

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} = \frac{\frac{E_1}{m^2} - \frac{E_1}{n^2}}{h} = \frac{E_1}{h} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{-\frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2}}{h} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi\hbar^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = R_{\text{H}} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Bu yerda

$$R_{\text{H}} = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi\hbar^3} = 3,29423 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

vodorod atomi uchun chastotali Ridberg doimiysi deyiladi.

Demak, vodorod atomida elektron yuqorigi m -sathdan quyi n -sathga o'tganda nurlanadigan fotonning chastotasi $\nu_{m \rightarrow n}$ quyidagicha bo'lar ekan:

$$\nu_{m \rightarrow n} = \frac{|E_1|}{h} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = R_{\nu H} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad [\text{Hz}] \quad (6.1)$$

Yuqoridagi formulani oldingi paragrafda ham yozgan edik. Lekin unda Ridberg formulasi sonlarni tanlashlar orqali hosil qilingan bo'lsa, ushbu mavzuda esa nazariy yo'l bilan isbotlab keltirib chiqardik.

Xususan, n sathning berilgan qiymatlarida har xil o'tishlar biror turdagi seriyalar jamlanmasini hosil qiladi. Vodorod atomi uchun seriyalarni sanab o'tamiz (56.3-rasm).

Layman seriyasi

$$\nu = R_{\nu H} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad m = 2, 3, 4, 5, \dots$$

Balmer seriyasi

$$\nu = R_{\nu H} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad m = 3, 4, 5, 6, \dots$$

Pashen seriyasi

$$\nu = R_{\nu H} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad m = 4, 5, 6, 7, \dots$$

Breket seriyasi

$$\nu = R_{\nu H} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad m = 5, 6, 7, 8, \dots$$

Pfund seriyasi

$$\nu = R_{\nu H} \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad m = 6, 7, 8, 9, \dots$$

Xemfri seriyasi

$$\nu = R_{\nu H} \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad m = 6, 7, 8, 9, \dots$$

6.2) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdan boshqasiga o'tganda nurlanadigan to'lqin uzunligini hisoblab topish mumkin.

Buni chastota va to'lqin uzunlik orasidagi $c = \lambda \nu$ bog'lanish va (6.1) ifodalardan foydalanib osongina aniqlash mumkin.

Demak, vodorod atomida elektron yuqorigi m -sathdan quyi n -sathga o'tganda nurlanadigan fotonning to'lqin uzunligi $\lambda_{m \rightarrow n}$ quyidagicha bo'lar ekan:

$$\frac{1}{\lambda_{m \rightarrow n}} = \frac{|E_1|}{hc} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = \frac{R_{\nu H}}{c} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = R_{\lambda H} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad [m^{-1}] \quad (6.2)$$

Bu yerda: $R_{\lambda H} = \frac{R_{\nu H}}{c} = 10980766,12 \text{ m}^{-1}$ — to'lqin uzunlikli Ridberg doimiysi.

Biz yuqorida keltirib chiqargan vodorod atomi seriyalari uchun chastotalar va to'lqin uzunliklari (6.1) va (6.2) formulalar yordamida quyidagi jadvalni tuzish mumkin:

Laymen seriyasi								
	2→1	3→1	4→1	5→1	6→1	7→1	8→1	∞→1
ν [TGs]	2470,67	2928,2	3088,34	3162,46	3202,72	3227	3242,75	3294,23
λ [nm]	121,42	102,45	97,14	94,863	94,2	93,67	92,514	91,068
Balmer seriyasi								
		3→2	4→2	5→2	6→2	7→2	8→2	∞→2
ν [TGs]		457,53	617,67	691,79	732,05	756,33	772,08	823,56
λ [nm]		655,7	485,7	433,66	409,81	396,65	388,56	364,27
Paschen seriyasi								
			4→3	5→3	6→3	7→3	8→3	∞→3
ν [TGs]			160,14	234,25	274,52	298,8	314,55	366,025
λ [nm]			1873,36	1280,7	1092,8	1004	953,74	819,61
Breket seriyasi								
				5→4	6→4	7→4	8→4	∞→4
ν [TGs]				74,12	114,383	138,66	154,417	205,89
λ [nm]				4047,5	2622,8	2163,6	1642,8	1457,1
Pfund seriyasi								
					6→5	7→5	8→5	∞→5
ν [TGs]					40,263	64,54	80,297	131,769
λ [nm]					7451	4648,3	3736,1	2276,71
Xemfri seriyasi								
						7→6	8→6	∞→6
ν [TGs]						24,277	40,03	915,064
λ [nm]						12357,4	7494,4	3278,46

7) (6.1) va (6.2) formulalaridan foydalanib, vodorod atomi uchun chastotali va to'liqinli Ridberg doimiylari qiymatlarini hisoblash formulalarini hosil qilish mumkin.

Vodorod atomi uchun chastotali va to'liqinli Ridberg doimiylari quyidagicha bo'ladi:

$$R_{\nu H} = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi \hbar^3} = 3,29423 \cdot 10^{15} \text{ [Hz]}, \quad R_{\lambda H} = \frac{R}{c} = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi c \hbar^3} = 10980767,12 \text{ [m}^{-1}] \quad (7)$$

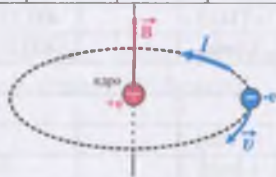
8) Nurlanish chastotasini har bir holatga mos kelgan spektral termlar ayirmasi shaklida ham ifodalash mumkin.

$$\nu_{n \rightarrow m} = \frac{R_{\lambda H}}{n^2} - \frac{R_{\lambda H}}{m^2} = T(n) - T(m) \text{ [Hz]} \quad (8)$$

Ixtiyoriy n -Bor orbitasiga mos keluvchi spektral term chastotasi $T(n) = \frac{R_{\lambda H}}{n^2}$ formula yordamida, to'liqin son esa $T(n) = \frac{R_{\lambda H}}{n^2}$ formula yordamida aniqlanib, har bir statsionar orbita uchun spektral term chastota va to'liqin sonlar quyidagi jadvalda berilgan.

Spektral term	$T(1)$	$T(2)$	$T(3)$	$T(4)$	$T(5)$	$T(6)$	$T(7)$	$T(8)$
Chastota (TGs)	3294,23	823,5575	366,0255	205,8893	131,7692	91,5064	67,2292	51,4723
To'liq son (m')	10980767	2745191	1220085	686298	439231	305021	224097	171574

9) Ma'lumki, jism egri chiziqli traektoriya bo'ylab har qanday harakat qilganda markazga intilma tezlanish hosil bo'ladi. Shuningdek, elektron ham yadro atrofida aylanayotganda yadro tomonga yo'nalgan markazga intilma tezlanish hosil bo'ladi. Xo'sh, bu markazga intilma tezlanishning qiymati qanday bo'ladi degan savol tug'iladi (96.4-rasm).



96.4-rasm

Ixtiyoriy Bor orbitasida aylanayotgan elektronning markazga intilma tezlanishi

$$a_n = \frac{g^2}{r} = \frac{\left(\frac{g}{n}\right)^2}{n^2 r_i} = \frac{1}{n^4} \frac{g^2}{r_i} = \frac{a_{nH}}{n^4}$$

bo'ladi. Bu yerda

$$a_{nH} = \frac{g_{H}^2}{r_{H}} = \frac{\left(\frac{k e^2}{\hbar}\right)^2}{\frac{\hbar^2}{k m_e e^2}} = \frac{m_e k^3 e^6}{\hbar^4} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (9 \cdot 10^9)^2 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^4}{(1,05456 \cdot 10^{-34})^4} = 9,067 \cdot 10^{22} \frac{m}{s^2}$$

uyg'onmagan vodorod atomidagi elektronning markazga intilma tezlanishi.

Demak, vodorod atomida ixtiyoriy n -Bor orbitasida hosil bo'ladigan markazga intilma tezlanishning qiymati quyidagicha bo'lar ekan (a_{nH} —uyg'onmagan vodorod atomida elektronning markazga intilma tezlanishi):

$$a_n = \frac{a_{nH}}{n^4}, \quad a_{nH} = k m_e \left(\frac{4 \pi^2 k e^2}{\hbar^2} \right)^2 = 9,067 \cdot 10^{22} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (13)$$

Shunday qilib, biz yuqorida vodorod atomi uchun Bor postulatlaridan keltirib chiqarilgan 9ta formulaning barchasidan foydalanib, dastlabki sakkizta Bor orbitasi uchun kattaliklar jadvalini keltiramiz.

Kattaliklar	Bor orbitasi	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Impuls momenti ($10^{-34} J \cdot s$)		1,05456	2,1091	3,1636	4,2182	5,273	6,3273	7,3819	8,4364
2 Orbita radiusi ($\text{\AA}$)		0,5291	2,1164	4,7619	8,4556	13,227	19,047	25,925	33,862
3 CHiziqli tezlik (km/s)		2190,27	1095,51	730,09	547,56	438,05	365,04	312,89	273,78
4.1 Aylanish chastotasi ($T \text{ Gs}$)		6588,46	823,56	244,02	102,94	52,707	31,478	19,823	13,28
4.2 Aylanish davri (10^{-15} s)		0,15178	1,2142	4,098	9,714	18,972	32,784	52,06	77,711
4.3 Burchak tezlik (10^{15} rad/s)		41,3966	5,1745	1,5332	0,6468	0,3312	0,1916	0,1212	0,0812
5.1 Kinetik energiya (eV)		13,6252	3,4063	1,5139	0,8515	0,545	0,3785	0,2781	0,213
5.2 Potensial energiya (eV)		-27,2504	-6,8126	-3,0278	-1,7030	-1,09	-0,757	-0,5561	-0,416
5.3 To'la energiya (eV)		-13,6252	-3,4063	-1,5139	-0,8515	-0,545	-0,3785	-0,2781	-0,213
6 Impuls (10^{-24} kg m/s)		1,99314	0,9966	0,6644	0,4983	0,3986	0,3322	0,2847	0,2491
7 Markazga int. tezl. (10^{11} m/s^2)		90,67	5,6668	1,1194	0,3542	0,145	0,07	0,0378	0,02213

Bor postulatlaridan yana ko'plab natijalar keltirib chiqarish mumkin. Masalan, ixtiyoriy Bor orbitasidagi aylanma tok kuchi, bu tok kuchidan hosil bo'ladigan magnit induksiya va magnit momenti va boshqa kattaliklarni aniqlashga yordam beradigan xususiy formulalarni hosil qilish mumkin.

Bor nazariyasiga ko'ra aniqlangan spektrlardagi to'liq uzunliklar tajriba natijalari bilan juda yuqori aniqlikda mos keldi. Bor nazariyasining to'g'ri ekanligi, ya'ni atomda kvant holatlarning mavjudligi keyinchalik Frank va Gers o'tkazgan tajribalari natijasida o'z isbotini topdi.

Bor nazariyasi Vodorod atomi va uning izotoplarining spektrlarini to'la tushuntirib bera oldi. Lekin, davriy sistemaning shundoqqina 2-katagida turuvchi Geliy atomini ham tushuntirib bera olmadi. Keyinchalik ma'lum bo'ldiki, Bor nazariyasi faqatgina vodorod va vodorodsimon atomlar uchungina o'rinli ekan.

 1. Bor postulatlarini aytib bering va formulalarini yozing.

2. Uyg'onmagan holat uchun Bor radiusi, bu holatdagi elektronning tezligi, chastotasi, davri, burchak tezligi, markazga intilma tezlanishini ifodalovchi formulalarni va ularning son qiymatlarini yozib bering.

3. Ixtiyoriy uyg'on holat uchun Bor radiusi, bu holatdagi elektronning tezligi, chastotasi, davri, burchak tezligi, markazga intilma tezlanishini ifodalovchi formulalarni yozib bering.

4. Uyg'onmagan holat uchun vodorod atomidagi elektronning kinetik energiyasi, potensial energiyasi va to'la energiyasini ifodalovchi formulalarni va ularning son qiymatlarini yozib bering.

5. Ixtiyoriy uyg'ongan holat uchun vodorod atomidagi elektronning kinetik energiyasi, potensial energiyasi va to'la energiyasini ifodalovchi formulalarni yozib bering.

6. Vodorod atomida bir stasionar orbitadan boshqasiga o'tganda yutiladigan yoki chiqariladigan foton chastotasini aniqlovchi formulani yozib bering. Bunda to'liq uzunlik qanday aniqlanadi.

7. Laymen, Balmer, Pashen, Breket va Pfund seriyalarini hisoblashga imkon beruvchi formulalarni yozing.

8. Vodorod atomi uchun chastotali Ridberg doimiysini aniqlovchi formulani va uning son qiymatini yozib bering.

9. Vodorod atomi uchun to'liq uzunlikli Ridberg doimiysini aniqlovchi formulani va uning son qiymatini yozib bering.

*De-broyl to'liqini:*

Yorug'likni elektromagnit to'liqini deb o'rganayotganimizda u zarra bo'lib chiqdi, ya'ni to'liqin o'zida korpuskulyar xususiyatni namoyon qildi. Endi zarra deb atagan elementar zarralarimiz to'qin emasmikan? Boshqacha aytganda, tabiat simmetriyaga moyil bo'lgani uchun korpuskulyar-to'liqin dualizmi (ikki yoqlamaligi) faqat nurlanishlarga tegishli bo'lmasdan, balki zarralarga ham tegishlidir degan savol Lui de-Broylni qiziqtirib qo'ydi. 1924-yilda u yangi gipotezani ilgari surdi. Unga ko'ra: *tabiat simmetriyaga moyil bo'lganligi uchun modda zarralarining faqat korpuskulyar xususiyatlari emas, balki to'liqin xususiyatlari ham sodir bo'lishi kerak*. Boshqacha aytganda, de-Broyl gipotezasiga asosan, korpuskulyar-to'liqin dualizmi elektromagnit nurlanish uchun ham, modda zarralari uchun ham tegishlidir. U holda elektromagnit nurlanish fotoni uchun o'rinli bo'lgan bo'lgan quyidagi

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

munosabatni modda zarralari uchun ham qo'llash mumkin. Shuning uchun, impulsi $p = m\vartheta$ bo'lgan zarraning harakatlanish jarayonida uzunligi

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\vartheta}$$

bo'lgan to'liqinning xususiyatlari namoyon bo'lishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi. Yuqoridagi formulani *de-Broyl formulasi* deb, λ ni esa *de-Broyl to'liqin uzunligi* deb atash odat tusiga kirdi. De-Broyl g'oyasi bilan tanishgach Eynshteyn "Agar de-Broyl haq bo'lsa, elektronlar bilan difraksiya hodisasi kuzatilish kerak" dedi.

Haqiqatan ham, ko'p o'tmasdan 1927-yilda Devison va Jermerlar elektronlar bilan tajriba o'tqazgach, de-Broyl g'oyasi to'g'ri ekanligi tasdiqlandi. Breg tomonidan elektron nurining kristallarda sinishi aniqlandi. Undan keyin boshqa olimlar α -zarralar, vodorod va boshqa engil atomlar bilan o'tkazgan tajribalarida ham difraksiya hodisasi ro'y berdi va korpuskulyar-to'liqin dualizmi butun tabiatga, ya'ni materiyaning modda va maydon ko'rinishlariga tegishli ekanligi tan olindi. Demak, Lui de-Broyl aytganidek korpuskulyar-to'liqin dualizmi universal xarakterga ega ekan.

Umuman olganda, yuqoridagi formula faqat elektronlar yoki elementar zarralar uchun emas, balki barcha jismlar uchun ham o'rinlidir. U holda nima uchun kundalik turmushda uchraydigan jismlar harakatida, masalan, otilgan toshning haraktida to'liqinsimonlik yoki difraksion xalqalar kuzatilmaydi?-degan savol tug'iladi. Bu savolga javob berish uchun og'irlik kuchi ta'sirida Yer sirti tomon harakatlanayotgan chang zarrasi ($m=10^{-9}$ kg, $v=10^{-3}$ m/s) ning de-Broyl to'liqini hisoblaylik.

$$\lambda_{\text{Broyl}} = \frac{h}{m\vartheta} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{10^{-9} \text{ kg} \cdot 10^{-3} \text{ m/s}} = 6,626 \cdot 10^{-22} \text{ m}$$

Optikadan ma'lumki, to'liqinning uzunligi to'siq yoki tirqishning o'lchami bilan solishtirarli darajada bo'lgandagina to'liqin xususiyatlar (geometrik soya tomonga og'ish) namoyon bo'ladi. Chang zarrasining de-Broyl to'liqini 10^{-22} m xususiyy o'lchami 10^{-3} m dan juda kichik. Shuning uchun, bunday sharoitlarda to'liqin xususiyatlar namoyon bo'lmaydi. Chang zarrasi qanchalik kichik bo'lmasin, baribir uning massasi va o'lchami

elektron va boshqa elementar zarralar massasi va o'lchamidan juda katta, ya'ni chang zarrasi makrojismdir. Shuning uchun ham massasi katta bo'lgan makrojismlar bizning ongimizda faqat korpuskulyar tasavvur hosil qiladi. Boshqacha aytganda, makrojismlar to'liqin xususiyatini oshkor etmasdan, balki yashirin tutadilar.

De-Broyl to'liqining fizik ma'nosi:

De-Broyl to'liqlari engil massali jismlar, harakatida ya'ni mikroob'ektlar, elementar zarralar harakatida yaqqol sezilishi, makrojismlar harakatida esa de-Broyl to'liqlari o'zini pinhon tutishi aytib o'tildi. Lekin, baribir har bir mikro yoki makrojism harakatida ozmi-ko'pmi qaysidir darajada to'liqinsimonlik namoyon bo'lar ekan. Shunday ekan, de-Broyl to'liqini mavjud bo'lsa, uning ko'rinishi qanday degan savol tug'ilishi tabiiy. Biz odatda, to'liqin deganda suv yuzida chayqalayotgan to'liqin, tarang tortilgan shnurdagi to'liqin yoki goh zichlashib goh siyraklashuvchi bo'ylama tovush to'liqlari, bir so'z bilan aytganda mexanik to'liqlari ko'z o'ngimizda gavdalanadi. Shunday bo'lishi tabiiydir. Chunki, dunyoga kelishimizdan tortib butun hayot yo'limiz toki dunyodan o'tganimizgacha sodir bo'lgan barcha voqealar mexanik voqealardir, makrojismlar harakati bilan bog'liq voqealardir. Boshqacha aytganda, biz mexanik hodisalar ichida yashaymiz va ongimiz shu hodisalarga to'la moslashgan. Mexanik to'liqlarlarda tashqi ta'sir shu ta'sir berilgan nuqtadan boshlab qo'shni nuqtlarga (molekuladan qo'shni molekulalarga) biror $v = \lambda \nu$ tezlik bilan uzatiladi va shu tezlik bilan to'liqin tarqalishi sodir bo'ladi. De-Broyl to'liqini esa — bu bitta zarraning harakatidan yuzaga keladigan to'liqindir. De-Broyl to'liqinida qo'shni zarralar degan gap bo'lmaydi, har bir zarra o'zining de-Broyl to'liqinini hosil qiladi. Shuning uchun ham de-Broyl to'liqinini biror mexanik to'liqiga qiyos qilish, uning o'xshashini mexanik olamdan izlash noo'rindir. Elementar zarralar makroolamdagi biror mexanik jismga o'xshamagani bois, bu zarralarning harakati ham tasavvurimizdagi mexanik jismlar harakatiga o'xshamaydi.

De-Broyl to'liqinini nurlanish, ya'ni elektromagnit to'liqiga o'xshatish, qiyoslash mumkinmi? — Yo'q. Chunki, elektromagnit to'liqini o'zgaruvchan elektr va magnit maydonlarining fazoda tarqalishidir. Elektromagnit to'liqinini harakatida tezlanish bo'lgan zaryadli zarra hosil qiladi. Agar zaryadli zarra, masalan elektron $v = at$ qonuniyat bo'yicha tekis tezlashayotgan bo'lsa, uning tarqatadigan elektromagnit to'liqin uzunligi $\lambda = \text{const}$ bo'ladi, de-Broyl to'liqini uzunligi esa $\lambda = \frac{h}{m\dot{g}} = \frac{h}{ma}$ qonuniyat bo'yicha tobora kichrayib

boradi. Agar o'sha elektron to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotgan bo'lsa ($\dot{g} = \text{const}$), u elektromagnit to'liqin tarqatmaydi, lekin $\lambda = \frac{h}{m\dot{g}} = \text{const}$ uzunlikdagi o'zgarmas de-Broyl

to'liqini mavjud bo'ladi. Agar zaryadsiz zarra, masalan neytron garchi tezlanishli harakat qilayotgan bo'lsa ham, u zaryadsiz bo'lgani uchun elektromagnit to'liqin tarqatmaydi, lekin $\lambda = \frac{h}{m\dot{g}} = \frac{h}{ma}$ o'zgaruvchan uzunlikdagi de-Broyl to'liqini esa mavjud bo'ladi.

Demak, elektromagnit va de-Broyl to'liqlari orasida hech qanday bog'liqlik yo'q ekan.

1926 yilda M.Born elektromagnit nurlanish hamda harakatlanayotgan mikrozzarralar dualistik xislatlarining umumiyiligiga asoslangan holda de-Broyl to'liqining fizik ma'nosini statistik tarzda izohlab berdi. Fazoning biror nuqtasiga fotonlarning tushishi ehtimolligi ayni nuqtadagi yorug'lik to'liqini amplitudasining kvadrati $|E_m|^2$ bilan aniqlanar edi. Ana shunga qiyosan, M.Born harakatlanayotgan mikrozarra hosil qilgan de-Broyl to'liqinini quyidagicha izohlaydi:

Mikrozarra harakti bilan bog'liq bo'lgan de-Broyl to'liqini amplitudasining kvadrati fazoning ayni nuqtasida mikrozarrani qayd qilish ehtimoligini xarakterlaydi.

Demak, elektronlar difraksiyasi o'tkazilgan tajribalarda ekranning maksimumi kuzatilgan sohalaridagi nuqtalarda de-Broyl to'liqini amplitudasining kvadrati maksimal qiymatga erishadi (bu joyda fotoplyonka eng ko'p kuyadi). Aksincha, ekranning minimumi kuzatilgan sohalaridagi nuqtalarda de-Broyl to'liqini amplitudasining kvadrati minimal qiymatga erishadi (bu joyda fotoplyonka eng kam kuyadi). Shunga ko'ra aytish mumkinki, de-Broyl to'liqini – bu axborot to'liqidir. Bu to'liqin o'zi bilan zarrani uchratish mumkinligi yoki ehtimoli haqida ma'lumot tashiydi. De-Broyl to'liqini hech qaysi bir moddiy to'liqinga o'xshamaydi.

Turli hollarda de-Broyl to'liqini aniqlash:

Yuqorida hosil qilgan $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\vartheta}$ formula barcha tezliklar uchun de-Broyl to'liqinining umumiy ifodasidir. Agar zarraning tezligi yorug'lik tezligidan juda kichik $v \ll c$ bo'lsa, zarraning harakatdagi massasi tinchlikdagi massasiga deyarli teng $m \approx m_0$ deb olish mumkin. Agar tezlik yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bo'lsa, zarra massasi relyativistik massaga aylanadi, ya'ni zarra massasi $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (\vartheta/c)^2}}$ qonuniyat bo'yicha oshishini

e'tibordan chetda qoldirmaslik kerak. Turli xil masalalarning berilishiga qarab $\lambda = \frac{h}{p}$ formuladan boshqa xususiy formulalar hosil qilish mumkin. Quyida biz bir necha xususiy hollarga to'xtalib o'tamiz. Chalkashliklarga yo'l qo'ymaslik uchun har bir formulani raqamlab boramiz.

1) Zarraning kichik tezlikdagi kinetik energiyasi ma'lum bo'lsa, uning de-Broyl to'liqini qanday bo'lishini aniqlaylik. Kinetik energiya impuls orqali

$$W_K = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{(m\vartheta)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

bo'ladi. Bundan impulsni kinetik energiya orqali

$$p = \sqrt{2mW_K}$$

deb ifodalash mumkin. Bundan de-Broyl to'liqin uzunligi

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mW_K}}$$

natija kelib chiqadi.

Demak, agar m massali zarraning kinetik energiyasi W_K berilgan bo'lsa, de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mW_K}}$$

2) Issiqlik harakatida ishtirok etayotgan molekula yoki atomning de-Broyl to'liqini qanday bo'lishini aniqlaylik. Zarraning ilgarilanma harakatdagi kinetik energiyasi

$$W_K = \frac{3}{2}kT$$

ekanini hisobga olsak, de-Broyl formulasi

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0W_K}} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 \frac{3}{2}kT}} = \frac{h}{\sqrt{3m_0kT}}$$

ko'rinishni oladi. Bu erda: $k=1,38 \cdot 10^{-23} [J/K]$ —Bolsman doimiysi.

Demak, agar T temperaturadagi m_0 massali atom yoki molekula issiqlik harakatida o'rtacha kvadratik tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, uning de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3m_0kT}}$$

Agar yuqoridagi formulada molekula yoki atomning massasini nisbiy atom massasi orqali $m_0 = M_r \cdot 1 \text{ m.a.b.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot M_r$ deb olsak, u holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3m_0kT}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{\sqrt{3 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot M_r \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot T}} = \frac{25,27}{\sqrt{M_r \cdot T}} \text{ \AA}$$

3) Elektr maydonida kichik tezliklargacha tezlashtirilgan zaryadli zarraning de-Broyl to'liqini qanday bo'lishini aniqlaylik. Buni elektr maydonida tezlashayotgan elektron, proton va α -zarralar misolida ko'rib chiqamiz.

3.1) Dastlab, elektronning de-Broyl to'liqin uzunligini aniqlaymiz. Katod va anod orasida hosil qilingan tezlantuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiya $w_k = \frac{m_0 v^2}{2}$ ga aylanadi, ya'ni $eU=W_k$ bo'ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e w_k}} = \frac{h}{\sqrt{2m_e eU}} = \frac{h}{\sqrt{2m_e e}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{12,279}{\sqrt{U}} \text{ \AA}$$

natija kelib chiqadi.

Shunday qilib, agar katod va anod orasida kichik tezliklargacha tezlantilgan elektron U potentsiallar farqini bosib o'tsa, uning de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eU}} \approx \frac{12,279}{\sqrt{U}} \text{ \AA} \quad (3.1)$$

3.2) Endi protonning de-Broyl to'liqin uzunligini aniqlaymiz. Elektr maydonining protonni tezlatishtirishda bajargan $A=eU$ ishi protonning kinetik energiya $w_k = \frac{m_0 v^2}{2}$ sig'a aylanadi, ya'ni $eU=W_k$ bo'ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_p w_k}} = \frac{h}{\sqrt{2m_p eU}} = \frac{h}{\sqrt{2m_p e}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{0,28656}{\sqrt{U}} \text{ \AA}$$

kelib chiqadi.

Demak, agar elektr maydonida kichik tezliklargacha tezlantilgan proton U potentsiallar farqini bosib o'tsa, uning de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'ladi:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_p eU}} \approx \frac{0,28656}{\sqrt{U}} \text{ \AA} \quad (3.2)$$

3.3) Endi esa α -zarraning de-Broyl to'liqin uzunligini aniqlaymiz. Elektr maydonining α -zarrani tezlatishtirishda bajargan $A=eU$ ishi α -zarraning kinetik energiya $w_k = \frac{m_0 v^2}{2}$ sig'a aylanadi, ya'ni $eU=W_k$ bo'ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_\alpha w_k}} = \frac{h}{\sqrt{2m_\alpha 2eU}} = \frac{h}{\sqrt{2m_\alpha e}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{4 \cdot 6,644 \cdot 10^{-27} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{0,1013}{\sqrt{U}} \text{ \AA}$$

kelib chiqadi.

Agar elektr maydonida kichik tezliklargacha tezatilgan α -zarra U potentsiallar farqini bosib o'tsa, uning de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'ladi:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eU}} \approx \frac{0,1013 \text{ \AA}}{\sqrt{U}} \quad (3.3)$$

4) Agar zarrani juda katta tezliklargacha tezatilsa, uning tezligi relyativistik tezlik deb ataladi. Relyativistik tezlikda harakatlanayotgan zarraning de-Broyl to'liqin uzunligini hisoblaylik. Energiya va impuls orasidagi bog'lanish $W = \sqrt{(pc)^2 + (m_0 c^2)^2}$ dan impulsni topamiz.

$$W^2 - (m_0 c^2)^2 = p^2 c^2; \rightarrow (W - m_0 c^2) \cdot (W + m_0 c^2) = p^2 c^2, \rightarrow W_K \cdot (W_K + 2m_0 c^2) = p^2 c^2, \rightarrow$$

$$p = \frac{\sqrt{W_K \cdot (W_K + 2m_0 c^2)}}{c}.$$

Topilgan impulsning qiymatidan foydalanib, relyativistik de-Broyl to'liqin uzunligini topamiz.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{\sqrt{W_K \cdot (W_K + 2m_0 c^2)}}$$

Demak, zarraning relyativistik de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{W_K (W_K + 2m_0 c^2)}} \quad [m] \quad (4)$$

5.1) Agar siklotronda tezatilgan elektron U potentsiallar farqini bosib o'tsa, u holda siklotronning teztatuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi, $eU=W_K$ bo'ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{W_K \cdot (W_K + 2m_0 c^2)}} = \frac{hc}{\sqrt{eU (eU + 2m_e c^2)}}$$

kelib chiqadi.

Demak, elektronning relyativistik de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU (eU + 2m_e c^2)}} \quad [m] \quad (5.1)$$

5.2) Agar siklotronda tezatilgan elektron U potentsiallar farqini bosib o'tsa, u holda siklotronning teztatuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi, $eU=W_K$ bo'ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{W_K \cdot (W_K + 2m_0 c^2)}} = \frac{hc}{\sqrt{eU (eU + 2m_p c^2)}}$$

kelib chiqadi.

Demak, siklotronda tezatilgan protonning relyativistik de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU (eU + 2m_p c^2)}} \quad [m] \quad (5.2)$$

5.3) Agar siklotronda tezatilgan elektron U potentsiallar farqini bosib o'tsa, u holda siklotronning teztatuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi, $eU=W_K$ bo'ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{W_k \cdot (W_k + 2m_0c^2)}} = \frac{hc}{\sqrt{eU(eU + 2m_0c^2)}}$$

kelib chiqadi.

Demak, siklotronda tezlatilgan protonning relyativistik de-Broyl to'liqin uzunligi quyidagicha bo'lar ekan:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU(eU + 2m_{\alpha}c^2)}} \quad [m] \quad (5.2)$$

De-Broyl to'liqinidan foydalanib, yana ko'pab xususiy formulalarni keltirib chiqarish mumkin. De-Broyl to'liqinini o'rganish orqali bilimlarimizni yana bir pog'ona oshirib oldik. Galdagi vazifa esa makrodunyo hodisalariga moslashgan tasavvurlarimizni ham biroz kengaytirib, mikrodunyo va mikrodunyo zarralari harakatining o'zida to'liqsimonlikni namoyon qilishiga moslashtirishdir.



1. De-Broyl to'liqinini aniqlovchi matematik ifodani yozing.
2. De-Broyl to'liqinini qaysi olimlar tajribada tekshirganlar?
3. De-Broyl to'liqini mexanik yoki elektromagnit to'liqinga o'xshaydimi? U qanday to'liqin?
4. Issiqlik harakatidagi atom yoki molekulaning de-Broyl to'liqin uzunligini aniqlovchi formulani yozing.
5. Kichik tezlikda harakatlanayotgan zarraning kinetik energiyasi ma'lum bo'lganda uning de-Broyl to'liqini qanday aniqlanadi?
6. Kichik tezliklargacha tezlatilgan zarra biror U potentsiallar farqini bosib o'tsa, uning de-Broyl to'liqini qanday aniqlanadi?
7. Relyativistik tezlikda harakatlanayotgan zarraning kinetik energiyasi ma'lum bo'lganda uning de-Broyl to'liqini qanday aniqlanadi?
8. Relyativistik tezliklargacha tezlatilgan zarra biror U potentsiallar farqini bosib o'tsa, uning de-Broyl to'liqini qanday aniqlanadi?



§ 58. KVANT SONLARI HAMDA ATOM VA MOLEKULALARNING ELEKTRON BULUTLARI HAQIDA TUSHUNCHA.

Kvant sonlari haqida tushuncha:

Tarixan olganda atom fizikasi juda yosh bo'lib, u XX asrning boshlaridan boshlab rivojlana boshlandi. Lekin, kimyo fani ikki asr oldin rivojlana boshlagan. Kimyo tilida atomning holati davriy sistemada guruhlar, davrlar, elektron pog'onalar va elektron pog'onachalar asosida tavsiflanadi. Hozirgi zamon atom fizikasi hamda kvant fizikasi tasavvurlariga ko'ra atomlarda elektronning holati klassik tasavvurlarga mutlaqo zid bo'lgan kvant kattaliklar asosida tushuntiriladi. Kvant kattaliklari 4 xil bo'lib, ular quyidagilar:

1) bosh kvant soni; 2) orbital kvant soni; 3) magnit kvant soni; 4) spin kvant soni.

Endi bu kvant kattaliklarining har biri nimani anglatishi haqida qisqacha to'xtalib o'tamiz.

1) **Bosh kvant soni:** Bu kvant soni atomdagi elektronning energiyasini xarakterlaydi va bu energiya vodorod atomi uchun ushbu

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} = -\frac{13,6252}{n^2} \quad [eV]$$

formula orqali, davriy sistemadagi boshqa vodorodsimon atomlar uchun esa ushbu

$$E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} = -13,6252 \frac{Z^2}{n^2} [eV]$$

formula orqali aniqlanadi.

Bu yerda: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$ – Plank doimiysi, $E_{1H} = -13,6252 [eV]$ – uyg‘onmagan bodorod atomidagi elektronning energiyasi, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right]$ – elektr doimiysi, $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} [kg]$ – elektornning massasi, $e = -1,602 \cdot 10^{-19} [C]$ – elektronning elektr zaryadi, Z – tartib raqami. Yuqoridagi eng muhim kattalik n – bosh kvant soni deb atalib, u elektronning atomdagi energiyasini xarakterlaydi. Bosh kvan soni n natural sonlarni qabul qiladi, ya’ni

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

qiymatlar qabul qiladi.

Masalan, vodorod atomida elektron uyg‘onmagan $n=1$ sathda $E_1 = -13,6252 [eV]$, $n=2$ sathda $E_2 = -\frac{13,6252}{4} [eV]$, $n=3$ sathda $E_3 = -\frac{13,6252}{9} [eV]$ va hokoza energiyalarga ega bo‘ladi.

2) *Orbital kvant soni*: Ma’lumki, atomlarda elektronlar yadro atrofida aylanma harakat qiladi va bu harakat impuls momentini vujudga keltiradi. Eslatib o‘tamiz, impuls momenti elektronning impuls va aylanish radiusi ko‘paytmasi ($L = p_e r = m_e g r$) ga teng vektor kattalikdir. Orbital kvant soni atomdagi elektronning orbitaviy impuls momentini xarakterlaydi. Impuls momenti terminini ba’zan harakat miqdori momenti yoki qisqacha mexanik moment deb ham ataladi. Elektronning impuls momenti ushbu

$$L = \sqrt{\ell(\ell+1)} \hbar [kg \cdot m^2 / s]$$

formula orqali aniqlanadi.

Bu yerda: $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,0545 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$ – chiziqli Plank doimiysi. Yuqoridagi eng muhim kattalik ℓ – orbital kvant soni deb atalib, u elektronning atomdagi yadro atrofida aylanishidan hosil bo‘ladigan orbital impuls momentini xarakterlaydi. Orbital kvan soni ℓ ushbu

$$\ell = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$$

gacha bo‘lgan qiymatlar qabul qiladi.

Masalan, atomda elektron uyg‘onmagan $n=1$ sathda $\ell=0$ qiymat qabul qilib, impuls moment $L=0$ bo‘ladi. $n=2$ sathda $\ell=0$ va $\ell=1$ qiymatlar qabul qilib, impuls momentlar ham mos holda $L=0$ va $L=\sqrt{2}\hbar$ bo‘ladi. $n=3$ sathda esa $\ell=0$, $\ell=1$ va $\ell=2$ qiymatlar qabul qilib, impuls momentlar ham mos holda $L=0$, $L=\sqrt{2}\hbar$ va $L=\sqrt{6}\hbar$ bo‘ladi va hokoza.

Elektronning yadro atrofidagi harakati faqatgina impuls momentini hosil qilmasdan, balki magnit momemtini ham hosil qiladi. Bunga sabab elektron zaryadli zarra bo‘lgani uchun uning harakati aylanma tokni hosil qiladi va $\mu = IS = \pi r^2 e v$ formulaga asosan

orbital magnit momentga ega bo'ladi. Orbital magnit moment $\frac{\mu}{L} = \frac{e}{2m_e}$ formuladan aniqlanadi.

$$\mu = \frac{he}{4\pi m_e} \sqrt{\ell(\ell+1)} = \mu_{\text{Bor}} \sqrt{\ell(\ell+1)} \quad [A \cdot m^2]$$

Bu yerda: $\mu_{\text{Bor}} = \frac{he}{4\pi m_e} = 9,272 \cdot 10^{-24} [A \cdot m^2]$ – Bor magnetoni deb ataladi. Elektron turli holatlarda bo'lganda uning orbital magnit momenti Bor magnetoniga proporsional qiymatlar qabul qiladi.

Masalan, atomda elektron uyg'onmagan $n=1$ sathda ($\ell=0$) magnit moment $\mu=0$ bo'ladi. $n=2$ sathda ($\ell=0, \ell=1$) magnit momentlar $\mu=0$ va $\mu=\sqrt{2}\mu_{\text{Bor}}$ qiymatlarga ega bo'ladi. $n=3$ sathda ($\ell=0, \ell=1, \ell=2$) esa magnit momentlar $\mu=0, \mu=\sqrt{2}\mu_{\text{Bor}}$ va $\mu=\sqrt{6}\mu_{\text{Bor}}$ qiymatlarga ega bo'ladi.

Shuni eslatib o'tamizki, orbital kvant soni atomdagi har xil holatlardagi elektronning orbital impuls momenti yoki orbital magnit momentining qiymatini aniqlab beradi, lekin momentlarning yo'nalishini ko'rsitib bera olmaydi. Chunki, impuls momenti va magnit momenti vektor kattaliklar bo'lgani uchun ular miqdor va yo'nalishga egadirlar. Momentning miqdorini aniqlash mumkin, yo'nalishini esa yo'q.

3) *Magnit kvant soni*: Agar atomga magnit maydon ta'sir ettirilsa, undagi elektronlarning orbital impuls moment vektorlari magnit maydon yo'nalishi atrofida presessiya hosil qilib girooskopik harakat qila boshlaydi. Ko'pincha, magnit maydon yo'nalishini Oz o'qi yo'nalishi bilan mos qo'yiladi. Impuls momenti vektorining magnit maydon yo'nalishiga (Oz o'qiga) proyeksiyasi biror qiymatga ega bo'ladi. Kvant tasavvurlariga asoslangan hisob-kitoblarga ko'ra, bu proyeksiya ham klassik tasavvurlarga zid bo'lgan kvant kattaliklarni qabul qilar ekan. Bu kvant kattalikni *magnit kvant soni* deyiladi. Shunday qilib, magnit kvant soni orbital impuls momenti yoki orbital magnit momentining magnit maydon yo'nalishiga proyeksiyasini xarakterlar ekan. Ular quyidagi formulaga ko'ra aniqlanadi:

$$L_z = m\hbar, \quad \mu_z = m\mu_{\text{Bor}}$$

Bu yerda: m – magnit kvant soni bo'lib, u ushbu

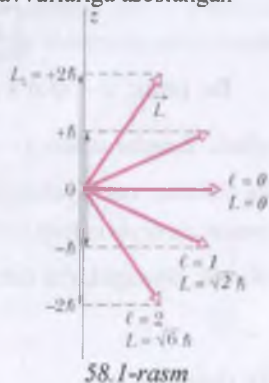
$$m = -\ell, -\ell+1, -\ell+2, \dots, \ell-2, \ell-1, \ell$$

qiymatlarni qabul qilib, jami $2\ell+1$ ta proyeksiyaga ega bo'ladi. Bu proyeksiyalarni *aynigan holat* deb ham ataladi (58.1-rasm).

Masalan, magnit kvant soni $\ell=0$ da $m=0$, $\ell=1$ da $m=-1, 0, 1$, $\ell=2$ da $m=-2, -1, 0, 1, 2$ qiymatlar qabul qiladi. Demak, impuls momentini va magnit momentini

proyeksiyalari $\ell=0$ da $\begin{cases} L_z = 0 \\ \mu_z = 0 \end{cases}$, $\ell=1$ da $\begin{cases} L_z = 0, \pm\hbar \\ \mu_z = 0, \mp\mu_{\text{Bor}} \end{cases}$, $\ell=2$ da $\begin{cases} L_z = 0, \pm\hbar, \pm 2\hbar \\ \mu_z = 0, \mp\mu_{\text{Bor}}, \mp 2\mu_{\text{Bor}} \end{cases}$

qiymatlarga ega bo'lar ekan.



4) *Spin kvant soni*: Yerning Quyosh atrofidagi yillik aylanma harakatini elektronning yadro atrofidagi aylanma harakatidan yuzaga keladigan orbital mexanik momentiga o'xshatish mumkin ekan. U holda Yerning o'z o'qi atrofidagi sutkalik aylanma harakatini elektronning ham o'z o'qi atrofidagi aylanma harakatiga o'xshatish mumkin ekan. Lekin, elektron ham o'z o'qi atrofiga aylanadimi degan bir savol tug'iladi. Xa, aylanadi. Nafaqat elektron, balki barcha elementar zarralar o'z o'qi atrofiga aylanadi. Zarraning o'z o'qi atrofiga aylanishidan yuzaga keladigan impuls momentni *xususiy impuls moment* yoki *xususiy maxanik moment* yoki qisqacha *spin* deyiladi. Elektron zaryadli zarra bo'lgani uchun uning har qanday harakati magnit maydonini yuzaga keltiradi, shuningdek aylanma harakati ham *xususiy magnit momentni* yoki *spin magnit momentni* yuzaga keltiradi.

Электронда спин мавжуд бўлгани учун спин магнит момент (хусусий магнит момент) ҳам мавжуд бўлади. Электронда спин ва спин магнит момент мавжудлиги хақидаги фикр 1925-йилда С. Гудсмит ва Г. Уланбеклар томонидан илгари сурилди. “Спин” сўзи инглизчадан “айланмоқ” деган маънони билдиради. Бу терминни ишлатишга сабаб шундаки, дастлаб электронни ўз ўқи атрофида айланувчи шарча деб тасаввур қилинган. Лекин, кўп ўтмай Гудсмит ва Уланбеклар бу фикрдан қайтишган. Бунга сабаб агар электрон ўз ўқи атрофида айланма ҳаракат қилса, унинг диаметридаги чизикли тезликининг қиймати ёруғлик тезлигидан ҳам катта бўлиб чиқар экан. Аммо “спин” терминидан фойдаланиш халигача давом этмокда. Замонавий тушунчаларга кўра электроннинг спини унинг массаси ва заряди каби ажралмас хусусиятидир.

Elektronning spini va spin magnit momenti ham makroolam qonunlari hamda klassik tasavvurlarga zid bo'lgan kvant tushunchalarga asoslangan bo'lib, ular kvant kattaliklarni qabul qiladi. Spin magnit moment $\frac{\mu}{L_s} = \frac{e}{m_e}$ formuladan aniqlanadi.

$$L_s = \sqrt{s(s+1)} \hbar, \quad \mu_s = 2\sqrt{s(s+1)} \mu_{Bor}$$

Bu yerda: s – spin kvant soni bo'lib, u faqat ikkita, ya'ni $s = \pm \frac{1}{2}$ qiymatni qabul qiladi. Zarralar uchun $s = +\frac{1}{2}$ deb, antizarralar uchun esa $s = -\frac{1}{2}$ deb olinadi (antizarralar va ularning xususiyatlari haqida ushbu darslikning oxirgi bobida so'z boradi). Elektron, proton va neytron kabi elementar zarralar zarra bo'lgani uchun ularning spini $s = +\frac{1}{2}$ deb olinadi. Shunga ko'ra elektron uchun yuqoridagi formula

$$L_s = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar, \quad \mu_s = \sqrt{3} \mu_{Bor}$$

ko'rinishga o'tadi.

Elektronga magnit maydon ta'sir ettirilsa, uning spinining va spin magnit momentining magnit maydon yo'nalishiga (Oz) o'qiga proyeksiyasi ham kvantlanadi.

$$L_{s,z} = \pm s \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar, \quad \mu_{s,z} = \pm s \mu_{Bor} = \pm \mu_{Bor}$$

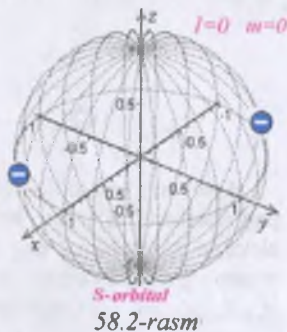
Demak, elektron spin magnit momentining tashqi maydon yo'nalishiga proyeksiyasi faqat ikki qiymatga ega bo'la olar ekan va uning absolyut qiymati Bor magnetoniga teng bo'lar ekan.

Elektron qobiq haqida tushuncha:

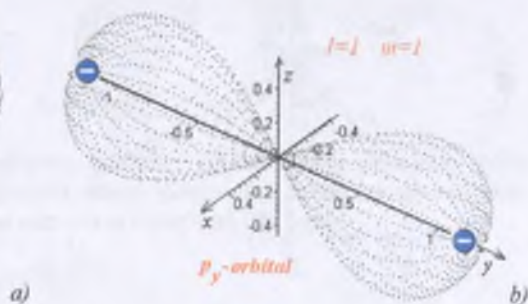
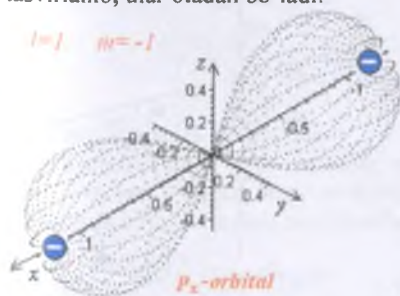
Zamonaviy tasavvurlarga ko'ra mikrodunyoda trayektoriya hamda harakat tenglamasi tushunchasi mavjud emas. Mikrodunyoda zarrani qayerda ekani va uni kelgusida yana qaysi joyda uchratish mumkinligini oldindan kafolatli aytib berib bo'lmaydi. Zarrani u yoki bu joyda uchratish ehtimolli xarakterga ega bo'lib, bunda zarraning harakati ham to'liqinsimon xususiyatga ega bo'ladi. Shuning uchun atomdagi elektron Bor tasavvuridagi kabi yassi tekislikda yotuvchi aniq orbitalarda harakatlanmasdan, balki elektronni eng ko'p uchratish mumkin bo'lgan soha Bor radiuslarini beradi. Zarra harakatidagi to'liqinsimonlik fazoviy elektron bulutini yoki elektron qobiqni hosil qiladi. Biz ana shu elektron qobiqlar haqida tushuncha berib o'tamiz.

Elektronlarni eng ko'p uchratish mumkin bo'lgan nuqtalar to'plamini s, p, d, f qobiqlar deb atalishini bilamiz. s qobiq bitta, p qobiq uchta p_x, p_y, p_z va d qobiq beshta $d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}, d_{x^2-y^2}, d_{z^2}$ orbitallardan tashkil topgan.

Atomlarda elektronlar turli pog'onachalardagi orbitallarda o'tiradi. Agar eng tashqi oxirgi orbital s -qobiq, ya'ni oxirgi valentlik elektroni s -elektron pog'onachada o'tirgan bo'lsa, bunday atomlarni s -elementlar deyiladi. s -qobiqdagi elektron harakatining eng zich ehtimolli qatlami sferaga o'xshash bo'lib, u barcha o'qlarga nisbatan simmetrikdir. s -elementlar davriy sistemada qizil rangda tasvirlanib, ular 2tadan bo'ladi (58.2-rasm).

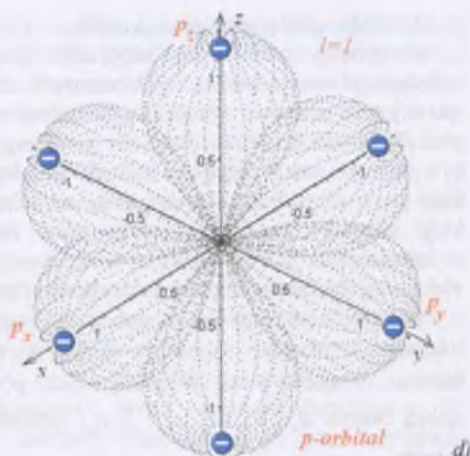


p -orbitallar gantelsimon, ya'ni lissajuga o'xshash bo'ladi. 58.3-rasmda uchta orbital alohida-alohida hamda ular birgalikda tasvirlangan. Oxirgi to'layotgan qobiq p -orbital bo'lgan elementlarni p -elementlar deyiladi. p -elementlar davriy sistemada sariq rangda tasvirlanib, ular 6tadan bo'ladi.





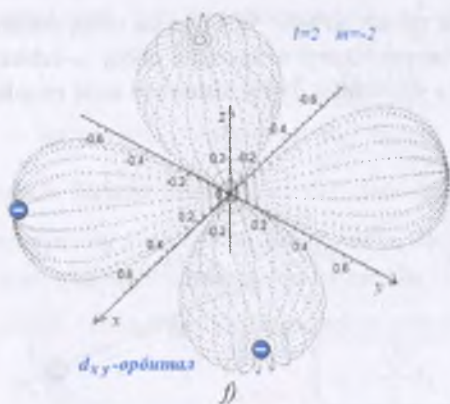
c)



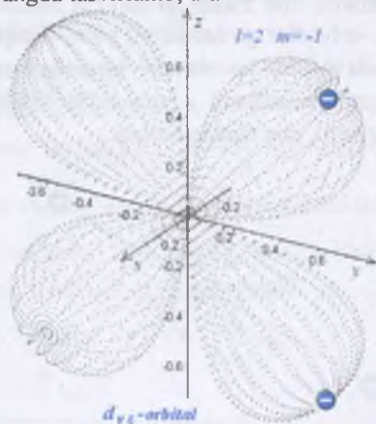
d)

58.3-rasm

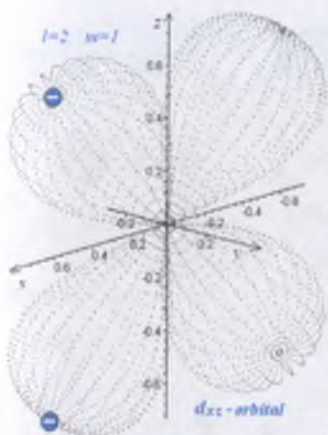
Agar eng tashqi oxirgi orbital d -qobiq, ya'ni oxirgi valentlik elektroni d -elektron pog'onachada o'tirgan bo'lsa, bunday atomlarni d -elementlar deyiladi. d -qobiqdagi elektron harakatining eng zich ehtimolli qatlami yaproqchasimon bo'ladi, ya'ni o'qlari o'zaro perpendikulyar bo'lgan gantellarga o'xshash bo'ladi. d -qobiqda beshta d_{xy} , d_{yz} , d_{zx} , $d_{x^2-y^2}$, d_{z^2} -orbitallar bo'lib, ularning fazoviy ko'rinishlari 58.4-rasmda keltirilgan. d -elementlar davriy sistemada ko'k rangda tasvirlanib, ular 10tadan bo'ladi.



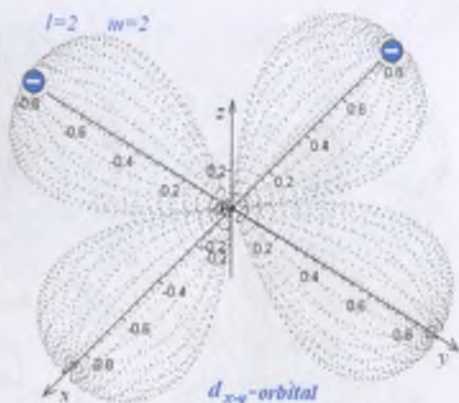
f)



b)



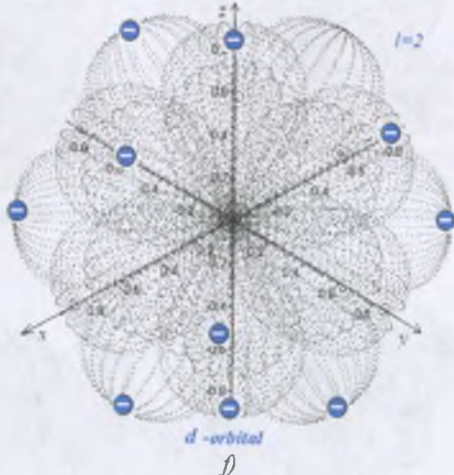
c)



d)



e)

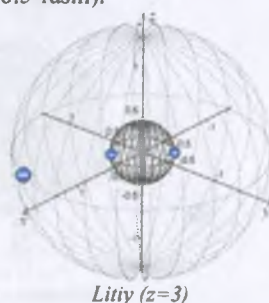


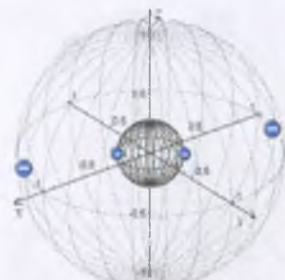
f)

58.4-rasm

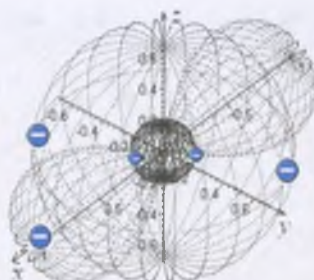
Atomlar haqida tushuncha:

O'rganuvchilarda atom va uning elektron qobiqlari, orbitalarining elektronga to'lib borishi haqida kengroq tasavvur hosil qilish uchun atomlarning axborot texnologiyalari yordamida olingan fasoviy tasvirlaridan namunalar keltirilgan (58.5-rasm).

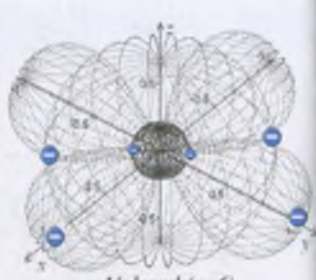




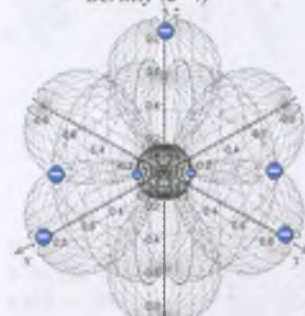
Berilliy ($z=4$)



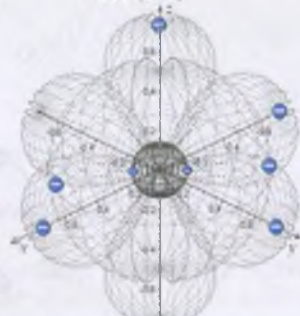
Bor ($z=5$)



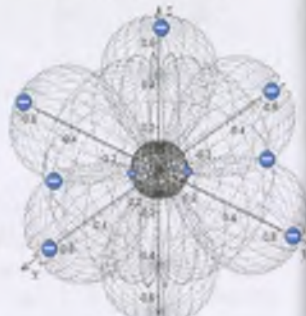
Uglerod ($z=6$)



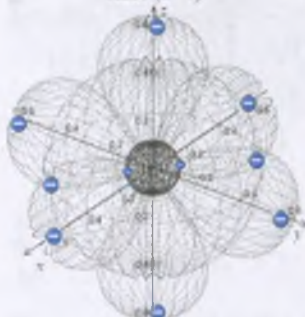
Azot ($z=7$)



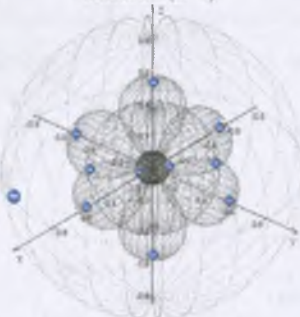
Kislorod ($z=8$)



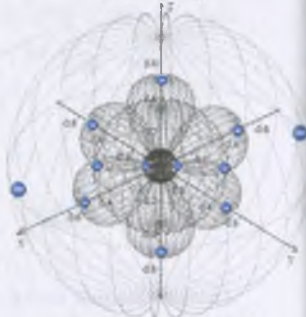
Ftor ($z=9$)



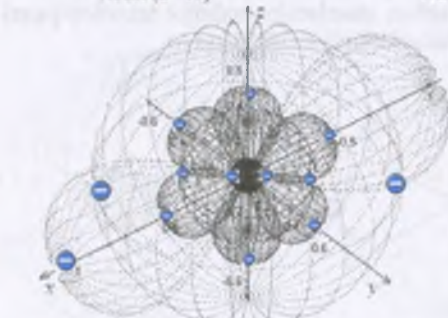
Neon ($z=10$)



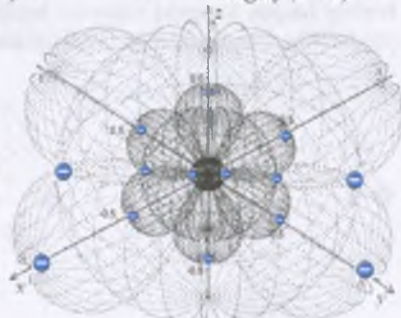
Natriy ($z=11$)



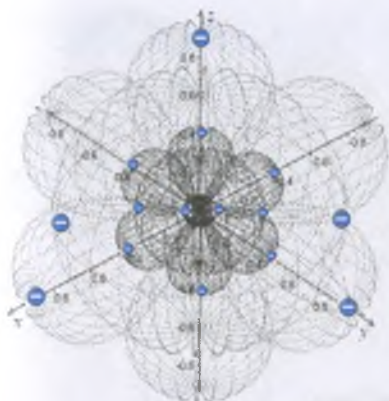
Magniy ($z=12$)



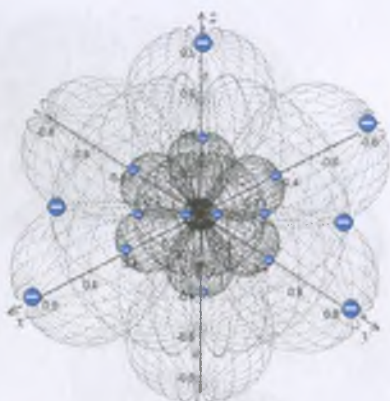
Alyuminiy ($z=13$)



Kremniy ($z=14$)



Fosfor ($z=15$)

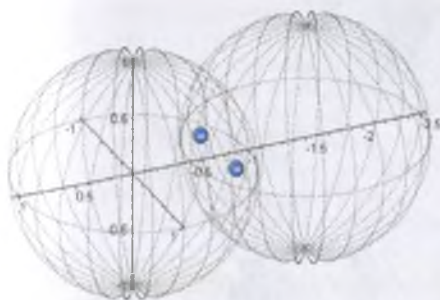


Oltinuguri ($z=16$)

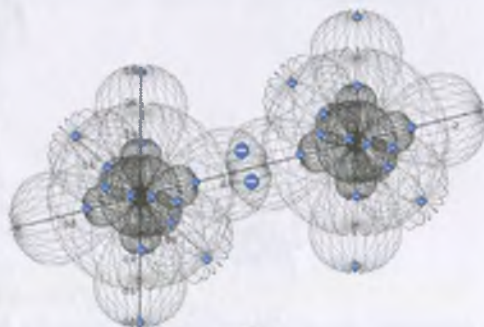
58.5-rasm

Molekulalar haqida tushuncha:

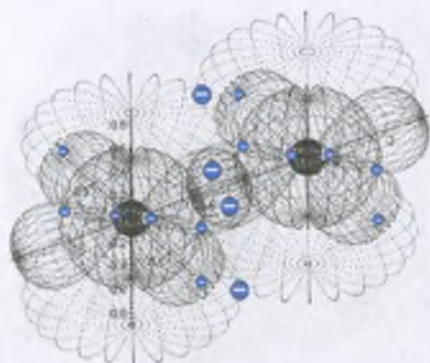
Atomlar ximiyaviy birikishi natijasida molekulalar hosil bo'ladi. Bu jarayon elektronga to'lmay qolgan eng tashqi elektron qobiqdagi elektronlar vositasida amalga oshadi. Elektronga to'lgan ichki qobiqdagi elektronlar molekulalar hosil qilishda ishtirok etmaydilar. Bir xil atomlar birikkanda kovalent bog'lanish yuzaga keladi. Boshqa hollarda ionli bog'lanish molekulyar bog'lanish, metall bog'lanish kabi bog'lanishlar hosil bo'ladi. Quyidagi 2-rasmda ba'zi molekulalarning elektron qobiqlari axborot texnologiyalari yordamida tasvirlangan (58.6-rasm).



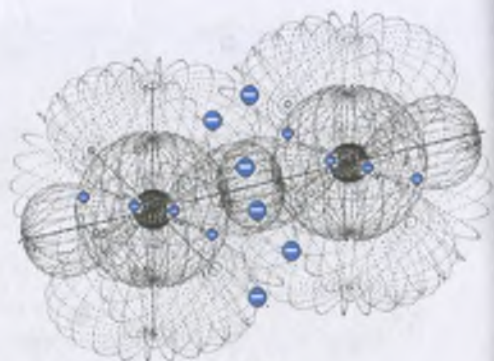
Vodorod



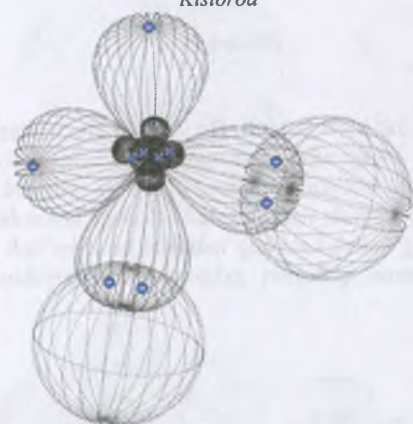
Xlor



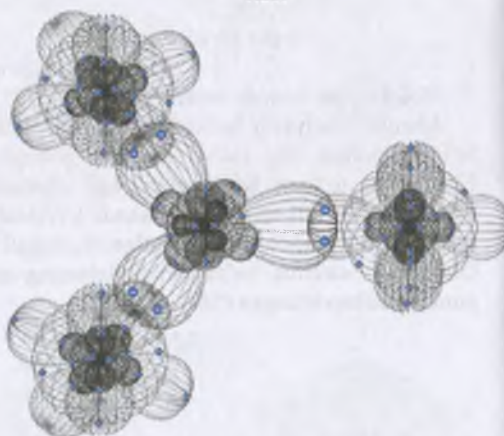
Kislorod



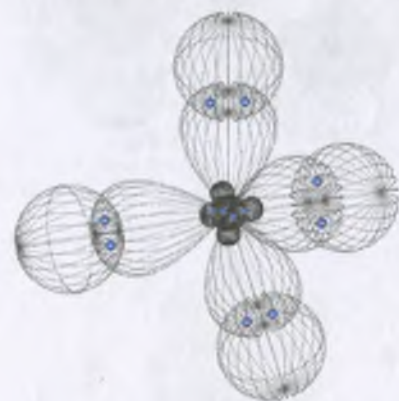
Azot



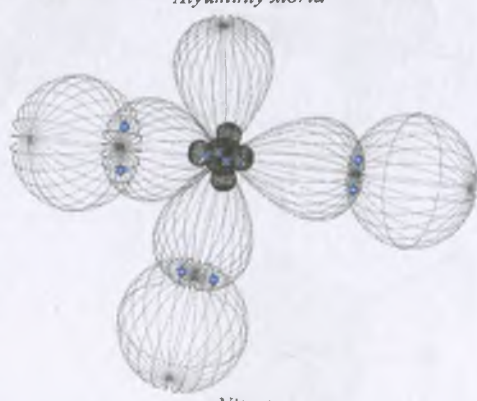
Sav



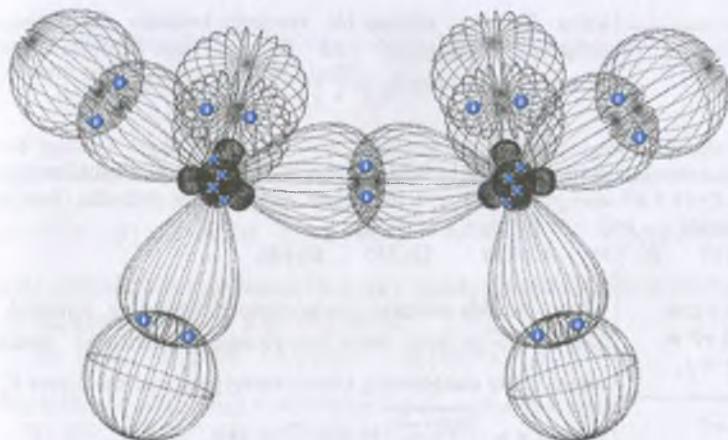
Alyuminiy xlorid



Metan



Nitrat



Etan
58.6-rasm

Yuqoridagi rasmlardan ko'rinib turibdiki, ichki qobiqlardagi elektronlar o'z o'rnidan qo'zg'alms ekan. Atomlarni birlashtirib molekula hosil qiluvchi bog'lar faqat tashqi to'lmagan qobiqlar (valent elektronlar va vakant joylar) vositasida amalga oshar ekan. Boshqa aytganda, atomlarning tashqi elektronlari bir-birlarini biroz qoplash evaziga molekulyar bog'lar hosil bo'lar ekan.

- ?
1. Mikrodunyoda zarralar qanday harakat qiladi? Unda traektoriya tiushunchasi mavjudmi?
 2. Mikrodunyoda nechta kvant kattalik bor?
 3. Bosh kvant soni nimani anglatadi?
 4. Orbital kvant soni nimani anglatadi?
 5. Magnit kvant soni nimani anglatadi?
 6. Spin kvant soni nimani anglatadi?
 7. *s*-orbital nima va u qanday shaklda? Bu orbitallar soni nechta?
 8. *p*-orbital nima va u qanday shaklda? Bu orbitallar soni nechta?
 9. *d*-orbital nima va u qanday shaklda? Bu orbitallar soni nechta?
 10. *s*-, *p*-, *d*-, *f*-elementlar davriy sistemada qanday rangda bo'yaladi?



XI BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Agar atom impulsi $1,5 \cdot 10^{-27}$ kg·m/s bo'lgan fotonni yutsa, uning energiyasi qanchaga ortadi (J)?

- A) $1,5 \cdot 10^{-19}$ B) $4,5 \cdot 10^{-19}$ C) $3 \cdot 10^{-19}$ D) $1,5 \cdot 10^{-19}$ E) $4,5 \cdot 10^{-19}$

Berilgan:

$$P = 1,5 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$\Delta E = ?$

Yechish:

Elektron bir energetik holatdan ikkinchisiga o'tganda chiqaradigan energiyasi ΔE unga mos keluvchi foton impulsi orasidagi bo'lganish $E = mc^2 = Pc$ bundan $\Delta E = 4,5 \cdot 10^{-19}$ J

Javob: B)

2. Vodorod atomi uchun to'rtinchi orbitaga mos keluvchi energiyani toping (eV).

- A)-13,6 B)-3,4 C)-1,51 D)-0,85 E) TJY

Berilgan:

$$E_0 = 13,6 \text{ eV}$$

Yechish:

Vodorod atomi uchun energiya sathlari bo'yicha energiya taqsimotiga

$$E_4 = ?$$

ko'ra Echish: elektron bir energetik holatdan ikkinchisiga o'tganda chiqaradigan energiyasi ΔE unga mos keluvchi foton impulsini $E = mc^2 = Pc$ dan $E_n = \frac{E_\infty}{n} = -3,4 \text{ eV}$ kelib chiqadi.

Javob: B)

3. Vodorod atomi spektrining qisqa to'liqinli chegarasi $\lambda = 910 \text{ \AA}$. G'alayonlanmagan vodorod atomidan $E = 15,5 \text{ eV}$ energiyali foton urib chiqargan elektronning yadrodan uzoqdagi tezligi qanday (km/s)? ($m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$).

A) 810 B) 650 C) 410 D) 230 E) 140

Berilgan:

$$\lambda = 9,1 \text{ nm};$$

$$E_f = 15,5 \text{ eV} =$$

$$24,8 \cdot 10^{-19} \text{ J};$$

$$v = ?$$

Echish:

Atom atrofiga orbitada aylanayotgan elektronning ionlanish energiyasi $E = h\nu = \frac{ch}{\lambda}$ ga teng. foton energiyasining elektronni ajratib olishdan ortgan qismi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi yani $E_k = E_f - \frac{ch}{\lambda}$

$$\text{bundan } v = \sqrt{\frac{2(E_f \lambda - ch)}{m\lambda}} = 810 \frac{\text{km}}{\text{s}} \text{ bo'ladi.}$$

Javob: A)



XI BOBGA DOIR TESTLAR

1. 02/9-52. Atom energiyasi E_m bo'lgan qo'zg'atilgan holatdan energiyasi E_1 bo'lgan asosiy holatga o'tganda, undan nurlanadigan kvantning chastotasi qaysi ifodadan aniqlanadi?

A) $\frac{E_m - E_1}{h}$ B) $\frac{E_1}{h}$ C) $\frac{(E_m + E_1)}{h}$ D) $\frac{(E_m - E_1)}{h}$ E) $\frac{E_m}{h}$

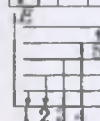
2. Chizmada keltirilgan atomning energetik sathlari orasidagi qaysi o'tishda eng kichik chastotali foton yutiladi?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5



3. Rasmda atom energetik sathlarining diagrammasi berilgan. Raqamli strelkalar bilan elektronning o'tishlari belgilangan. Berilgan elektron o'tishlarining qaysi birida chastotasi eng katta bo'lgan foton nurlanadi?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4



4. Rasmda atom energetik sathlarining diagrammasi keltirilgan. Raqamli strelkalar bilan elektronning o'tishlari berilgan. Elektron o'tishlarining qaysi birida chastotasi eng kichik bo'lgan foton yutiladi?

A) 5 B) 4 C) 3 D) 2 E) 1



5. Rasmda atomning shartli stasionar elektron orbitalari tasvirlangan. Qaysi orbitada elektronlar eng katta energiyaga ega bo'ladi? Qaysi orbitada elektronlar eng kichik energiyaga ega bo'ladi?

A) TJY B) 4-orbitada eng kichik, 1-orbitada eng katta
C) 3-orbitada eng katta, 2-orbitada eng kichik
D) 4-orbitada eng katta, 1-orbitada eng kichik
E) hamma orbitalarda bir xil energiyaga ega bo'ladi.



6. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda o'zidan 550 nm to'liqin uzunligiga ega bo'lgan nurlanish chiqaradigan atomning radiusi (λ) topilsin.

A) 2,77 B) 1,5 C) 2 D) 3 E) 1,7

7. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda ionizatsiya potentsiali $13,6 \text{ eV}$ bo'lgan vodorod atomi radiusi ($\text{\AA}$) aniqlansin. (Javob: 1,6).
A) 0,16 B) 1,6 C) 0,6 D) 3,6 E) 2,7
8. Rezerford tajribasi yordamida $3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ tezlikda harakatlanayotgan α -zarralarning oltin folgada sochilishi kuzatilmofda. Bunda yadroning qanday o'lchamini olamiz? (Javob: $1,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}$).
A) $1,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ B) $1,22 \cdot 10^{-13} \text{ m}$ C) $2,1 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ D) $2,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ E) $2,22 \cdot 10^{-14} \text{ m}$
9. Atom pastki statsionar holatdan yuqorigi holatga o'tganda uning energiyasi $8,28 \text{ eV}$ ga o'zgargan bo'lsa, qanday chastotali (THz) nur yutadi?
A) 80 B) 1650 C) 2000 D) 2300 E) 1400
10. Atomning beshinchi orbitasidagi elektronning impuls momentini toping.
A) $\hbar$ B) $2\hbar$ C) $3\hbar$ D) $4\hbar$ E) $5\hbar$
11. Atomdagi elektronning 7-orbitasining radiusi $35 \text{\AA}$ bo'lsa, ushbu orbitadagi elektronning tezligi (Mm/s) topilsin.
A) 0,023 B) 0,23 C) 2,3 D) 3,2 E) 0,32
12. To'lqin soni $5 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$ bo'lgan to'qinning uzunligi (nm) topilsin.
A) 80 B) 150 C) 200 D) 200 E) 100
13. Layman seriyasining ikkinchi spektral chizig'ining chastotasi (THz) topilsin.
A) 824 B) 150 C) 1924 D) 924 E) 2928
14. Balmer seriyasining to'rtinchi spektral chizig'ining chastotasi (THz) topilsin.
A) 2732 B) 320 C) 732 D) 1732 E) 224
15. Paschen seriyasining ikkinchi spektral chizig'iga mos keluvchi to'lqin sonini (sm^{-1}) toping.
A) 800 B) 7804 C) 780 D) 1780 E) 3700
16. Breket seriyasining uchinchi spektral chizig'ining chastotasi (THz) topilsin.
A) 138 B) 380 C) 200 D) 480 E) 38
17. Pfund seriyasining ikkinchi spektral chizig'ining chastotasi (THz) topilsin.
A) 35 B) 164 C) 200 D) 64,5 E) 48
18. Vodorod atomining beshinchi energetik sathiga mos keluvchi spektral termni (sm^{-1}) hisoblang.
A) 480 B) 7889 C) 780 D) 4389 E) 379
19. Vodorod atomining nechanchi energetik sathining spektral termi $3048,25 \text{ sm}^{-1}$ bo'ladi?
A) 5 B) 6 C) 2 D) 1 E) 3
20. Vodorod atomidagi elektronning 7-statsionar orbitasi radiusi ($\text{\AA}$) topilsin.
A) 52 B) 25,9 C) 22 D) 18,5 E) 36

21. Vodorod atomidagi elektronning nechanchi statsionar orbitasining radiusi $33,86 \text{ \AA}$ bo'ladi?
A) 8 B) 6 C) 2 D) 4 E) 3
22. Vodorod atomidagi elektronning 3-statsionar orbitadagi tezligi (Mm/s) topilsin.
A) 5,28 B) 3,28 C) 2,28 D) 0,728 E) 1
23. Vodorod atomining 6-statsionar orbitadagi kinetik energiyasini (eV) toping.
A) 4,8 B) 0,38 C) 2,28 D) 0,78 E) 1,8
24. Vodorod atomidagi elektronning biror statsionar orbitadagi kinetik energiyasi $0,28 eV$ bo'lsa, uning potentsial energiyasini (eV) toping.
A) -5,6 B) -0,56 C) -3,2 D) -0,32 E) -1,8
25. Impulsi $4,4 \cdot 10^{-24} \text{ kg} \cdot m/s$ bo'lgan zarraning de-Broyl to'lqin uzunligi (λ) topilsin.
A) 0,5 B) 3,5 C) 0,15 D) 2,5 E) 1,5
26. de-Broyl to'lqin uzunligi $8 \text{ \AA}$ bo'lgan zarraning impulsini ($kg \cdot m/s$) toping. (Javob: $8,28 \cdot 10^{-25}$).
A) $8,28 \cdot 10^{-25} m$ B) $8,28 \cdot 10^{-15} m$ C) $8,28 \cdot 10^{-24} m$ D) $8,28 \cdot 10^{-22} m$ E) $1,28 \cdot 10^{-25} m$
27. Tezligi $1,5 \cdot 10^7 \text{ m/s}$, massasi $4,4 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ bo'lgan zarraning de-Broyl to'lqin uzunligi (λ) topilsin.
A) 5 B) 2 C) 0,15 D) 0,5 E) 1
28. Kinetik energiyasi $8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ bo'lgan elektronning de-Broyl to'lqin uzunligi (λ) topilsin. (Javob: 5,5).
A) 0,5 B) 2,5 C) 5,5 D) 2,5 E) 1,5
29. de-Broyl to'lqin uzunligi $7 \text{ \AA}$ bo'lgan elektronning kinetik energiyasi (J) topilsin. Elektronni klassik zarra deb hisoblang. (Javob: $4,9 \cdot 10^{-19}$).
A) $4,9 \cdot 10^{-19} m$ B) $9,4 \cdot 10^{-19}$ C) $3,8 \cdot 10^{-19}$ D) $8,28 \cdot 10^{-22}$ E) $4,9 \cdot 10^{-18}$

XI BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda o'zidan 660 nm to'lqin uzunligiga ega bo'lgan nurlanish chiqaradigan atomning radiusi ($\text{\AA}$) topilsin.
2. Tomsonning atom modeli bo'yicha atomning radiusi $3,5 \text{ \AA}$ bo'lsa, bu atom o'zidan qanday to'lqin uzunlikli (nm) nurlanish chiqaradi?
3. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda o'zidan 700 TGs chastotali nurlanish chiqaradigan atom ichidagi elektr maydon kuchlanganligi (V/m) topilsin. Atom ichidagi elektronning muvozonat vaziyatidan chetlashishi $0,012 \text{ \AA}$.

4. Rezerford tajribasi yordamida $2 \cdot 10^7$ m/s tezlikda harakatlanayotgan α -zarralarning oltin folgada sochilishi kuzatilmoqda. Ssintillyasiyalar 45° burchak ostida sanalayotgan bo'lsa, nishonga olish masofasi nimaga teng?
5. Yuqoridagi masala alyuminiy zari yordamida o'tkazilayotgan bo'lsa, nishonga olish masofasi nimaga teng bo'ladi?
6. Nishonga olish masofasi $b = 10^{-14}$ m bo'lganda 10^7 m/s tezlikda harakatlanayotgan α -zarralar oltin folgada qanday burchakka sochiladi?
7. Atom yuqorigi statsionar holatdan pastki holatga o'tganda uning energiyasi $4,5 \text{ eV}$ ga o'zgargan bo'lsa, qanday chastotali (TG_s) nurlanish hosil bo'ladi?
8. Atomning uchinchi orbitasidagi elektronning impuls momentini toping.
9. Atomdagi elektronning oltinchi orbitadagi tezligi $2,4 \cdot 10^4$ m/s bo'lsa, bu orbitaning radiusini (λ) toping.
10. To'lqin soni $1,25 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$ bo'lgan to'lqinning uzunligi nm topilsin.
11. Layman seriyasining to'rtinchi spektral chizig'iga mos keluvchi to'lqin sonini (sm^{-1}) toping.
12. Balmer seriyasining uchinchi spektral chizig'ining chastotasi (TG_s) topilsin. (Javob:).
13. Pashen seriyasining uchinchi spektral chizig'iga mos keluvchi to'lqin sonini (sm^{-1}) toping.
14. Breket seriyasining to'rtinchi spektral chizig'ining chastotasi (TG_s) topilsin.
15. Pfund seriyasining uchinchi spektral chizig'iga mos keluvchi to'lqin sonini (sm^{-1}) toping.
16. Vodorod atomining uchinchi energetik sathiga mos keluvchi spektral termni (sm^{-1}) hisoblang.
17. Vodorod atomining nechanchi energetik sathining spektral termi 6859 sm^{-1} bo'ladi?
18. Vodorod atomidagi elektronning 4-statsionar orbitasi radiusi (λ) topilsin.
19. Vodorod atomidagi elektronning nechanchi statsionar orbitasining radiusi $19 \text{ \AA}$ bo'ladi?
20. Vodorod atomidagi elektronning 5-statsionar orbitadagi tezligi (Mm/s) topilsin.
21. Vodorod atomining 3-statsionar orbitadagi kinetik energiyasini (eV) toping.
22. Vodorod atomidagi elektronning biror statsionar orbitadagi kinetik energiyasi $3,4 \text{ eV}$ bo'lsa, uning potensial energiyasini (eV) toping.
23. Elektronni vodorod atomidagi ikkinchi orbitadan yadroning tortishish sohasidan chiqarib yuborish uchun qancha ish bajarish kerak?
24. Vodorod atomi normal holatdan bosh kvant soni 3ga teng bo'lgan uyg'otilgan holatga o'tkazildi. Atom uyg'otilgan holatdan normal holatga qaytib o'tishida vodorod spektrida qanday chiziqlar hosil bo'lishi mumkin?

25. Birinchi Bor orbitasidagi vodorod atomi elektronining aylanish davrini. 2) uning burchak tezligini toping.
26. Vodorod atomining dastlabki g'alayonlanish potensialini aniqlang. (Javob: 10,2 eV)
27. Birinchi Bor orbitasidagi elektronning kinetik, potensial va to'la energiyasi son qiymatini toping.
28. Impulsi $3,3 \cdot 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ bo'lgan zarraning de-Broyl to'liq uzunligi (λ) topilsin.
29. de-Broyl to'liq uzunligi $10 \text{ \AA}$ bo'lgan zarraning impulsini ($\text{kg} \cdot \text{m/s}$) toping.
30. Tezligi $2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$, massasi $1,65 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ bo'lgan zarraning de-Broyl to'liq uzunligi (λ) topilsin.
31. Kinetik energiyasi $6,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ bo'lgan elektronning de-Broyl to'liq uzunligi (λ) topilsin.
32. de-Broyl to'liq uzunligi $3 \text{ \AA}$ bo'lgan elektronning kinetik energiyasi (J) topilsin. Elektronni klassik zarra deb hisoblang.
33. 1) 10^6 m/s tezlikda uchayotgan elektron uchun; 2) 300°K temperaturada o'rtacha kvadrat tezlikka teng tezlik bilan harakatlanayotgan vodorod atomi uchun; 3) 1 sm/s tezlikda harakatlanayotgan 1 g massali shar uchun de-Broyl to'liq uzunligini toping.
34. Kinetik energiyasi: 1) 10 keV 2) 1 MeV bo'lgan elektron uchun de-Broyl to'liq uzunligini toping.
35. $n = 2$ bo'lgan hol uchun ℓ va m kvant sonlarini sanab bering. $\ell = 1$; $m = -1, 0, 1$
36. $\ell = 3$ bo'lganda elektronning impuls momenti va magnit momentning qiymatlarini toping.
 $L = 2\sqrt{3} \hbar$, $\mu = 2\sqrt{3} \mu_{\text{Bor}}$
37. $\ell = 3$ bo'lganda elektron impuls momenti va magnit momentning proyeksiyalarini toping.
 $L = 0, \pm \hbar, \pm 2\hbar$; $\mu = 0, \pm \mu_{\text{Bor}}, \pm 2\mu_{\text{Bor}}$



Atomning ichki tuzilishga ega ekanligi rad etib bo'lmaz tajribalar bilan tasdiqlangandan keyin bu atomning yadrosi qandaydir strukturaga egami degan savol olimlarni qiziqtirib qo'ydi. Ayniqsa, radioaktiv nurlanish va yemirilishlar kashf etilgandan keyin bu nurlanishlar atom qobiqlaridan emas, balki uning yadrosidan kelayotganligi ma'lum bo'di. Yadroda ham xuddi elektron qobiqlardagi kabi qandaydir bir qo'zg'algan holatlar bo'lar ekanki, bu holatda yadro nur chiqarish xususiyatiga ega bo'lar ekan. 1932-yilda Chedvik neytronni kashf qilgandan keyin yadroning hozirgi kundagi proton-neytronli tuzilishga ega egaligi va ularning massasi deyarli atom massasini tashkil etilishi aniqlandi. Ushbu bobda atom yadrosining xarakteristikalari, yadroviy yemirilishlar va ularning turlari, yadro va termoyadro reaksiyalari va yadro energetikasidan tinchlik maqsadida foydalanish kabi mavzularga to'xtalib o'tamiz.



§ 59. RADIOAKTIVLIK. YEMIRILISH VA UNING TURLARI.

SILJISH QOIDASI. RADIOAKTIV YEMIRILISH QONUNI.

NURLANISH AKTIVLIGI VA DOZASI

Radioaktivlikning kashf etilishi:

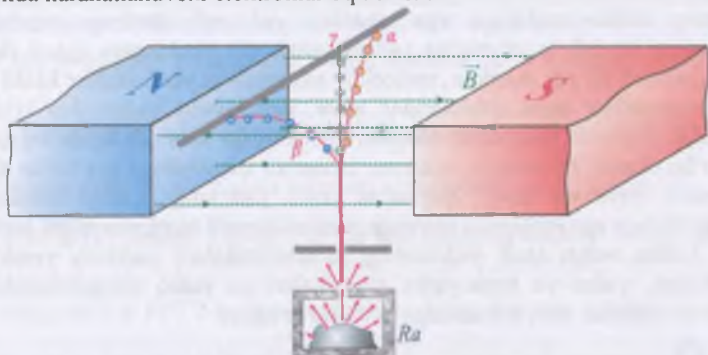
1896 yili fransuz olimi A.Bekkerel uran tuzlari yaqinida tortmada turgan fotoplastinkalar kuyib yaroqsiz holga kelib qolganini guvohi bo'ldi. Dastlab buni sababini anglamagan bo'lsa-da, keyinchalik plyonkalar kuyib qolishini asosiy sababi uran tuzlari ekanini aniqladi. Xuddi shuningdek, uranning turli birikmalari yoki sof uran elementini o'zi ham bir xil noma'lum nurlar chiqarib fotoplastinka kuyishiga sababchi bo'lar ekan. Uran elementi molekula holda, birikma tarkibida yoki yakka atom holda bo'lishidan qat'iy nazar, bir xil nurlanar ekan. Bu nurlanish intensivligiga hech qanday tashqi ta'sirlar (bosim, temperatura, elektr va b.) o'z ta'sirini ko'rsatolmas ekan. Keyinchalik fotoplastinkani kuydiradigan bunday nurlar boshqa elementlar (toriy, radiy, poloniy) tomonidan ham chiqarilishini Pyer Kyuriy va Mariya Kyuriy-Skladovskayalar tomonidan aniqlandi.

Moddaning o'z-o'zidan (spontan) nur chiqarish hodisasiga radioaktivlik deyiladi.

Keyinchalik radioaktiv nurlarning kelib chiqish sababi, uning boshqa jismlarga ta'siri va boshqa xossalri keng o'rganildi. Jumladan, radioaktiv nur dastasiga magnit maydoni ta'sir ettirilganda bu dasta uchta dastaga ajralishi aniqlandi (59.1-rasm). Birinchi turdagi nurlar dastlabki yo'nalishidan chap tomonga, ikkinchi turdagi nurlar o'ng tomonga og'ganligi va uchinchi turdagi nurlar esa og'masdan to'g'ri chiziqli hosil qilgani aniqlandi. Birinchi turdagi nurlarni α -nurlar deb, ikkinchi turdagi nurlarni β -nurlar deb va uchinchi turdagi nurlarni esa γ -nurlar deb ataldi. Ma'lumki, magnit maydonida faqat zaryadli zarralar og'adi. Bundan esa α - va β -nurlar qarma-qarshi ishorali zaryadli zarralar oqimi, γ -nurlar zaryadsiz zarralar oqimi degan xulosa kelib chiqadi.

Radioaktivlikni har tomonlama o'rganish natijalari shuni ko'rsatdiki, α -nurlar mublat zaryadli α -zarralar oqimi, β -nurlarni manfiy zaryadli β -zarralar oqimi hamda γ -nurlarni qisqa elektromagnit to'lqinlari ekan. α - va β -zarralarni magnit maydonida og'ishidagi egrilik radiusiga qarab dastlab bu zarralarning solishtirma og'irligi, so'ngra zaryadi va massasi aniqlandi. Tajribalar natijasiga ko'ra α -zarralar — bu taxminan $\sim 20000 \text{ km/s}$

tezlik bilan harakatlanuvchi geliy yadrolari, β -zarralar – bu taxminan yorug'lik tezligiga yaqin tezlikda harakatlanuvchi elektronlar oqimi ekan.



59.1-rasm

Shunday qilib, ba'zi bir tabiiy va sun'iy kimyoviy elementlar atomlarining o'z-o'zidan α -, β -zarrachalar va γ -kvantlar chiqarib, boshqa kimyoviy elementlar atomlariga aylanishiga radioaktivlik deyilar ekan. Bunda α -nurlar, geliy atomining yadrolari bo'lib, $\sim 10^7$ m/s tezlik bilan chiqadi. β -nurlar tez harakatlanuvchi elektronlar oqimi bo'lib, tezligi $\sim 10^8$ m/s dan $\sim 0,999c$ tezlikkacha yetadi. γ -nurlar esa to'liq uzunligi $10^{-11} - 10^{-13}$ m bo'lgan rentgen nurlaridan ham qisqa elektromagnit to'lqinlardan iborat.

M.Kyuriy va P.Kyuriylar ikkita radioaktiv elementni – radiy va poloniyni aniqladilar. Poloniy elementiga M.Kyuriy vatani Polsha sharafiga shunday nom berildi. Radiyning radioaktivligi urannikidan million marta katta edi. Spektral analiz yordamida 1908 yilda Rezerford radioaktiv gazni – radonni aniqladi. Keyinchalik ma'lum bo'ldiki, Mendeleyev davriy sistemasining 84-elementi poloniydan keyingi barcha elementlar o'zidan radioaktiv nur chiqarar ekan.

Radioaktivlikning kashf etilishi fiziklar oldiga yangi “bu nurlanish qanday paydo bo'ladi” degan savol qo'ydi. Ayniqsa, bu nurlanishning spontanligi juda hayratlanarli edi. Olimlar Rezerford va Soddi 1903-yilda atomlar o'z-o'zidan yemirilishidan radioaktiv nurlanish paydo bo'ladi degan gipotezani o'rta tashladilar. Unga ko'ra radioaktiv elementlarning yadrolari vaqti-vaqti bilan goh unisi, goh bunisi radioaktiv yemirilish natijasida nurlar chiqarib turadi. Demak, radioaktiv element yadrolari oddiy elementlarning yadrolaridan farqli ravishda ular turg'un bo'lmasdan, bu yadrolarda vaqti-vaqti bilan yemirilishlar bo'lib turar ekan. Bu yemirilishlar natijasida yadrodan α -, β -zarrachalar va γ -kvantlar chiqib turar ekan.

Radioaktiv yemirilish turlari, yemirilishlarda siljish qoidalari:

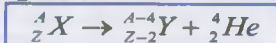
Radioaktiv yadrolarni o'zidan biror zarralami chiqarib boshqa yadroga aylanish protsessiga **radioaktiv yemirilish** deyiladi. Bu protsessda yadroning zaryadi va massa soni o'zgarishi yoki o'zgarmasligi mumkin. Radioaktivlikka duchor bo'lgan yadroni birlamchi yoki ona yadro deb, yemirilish natijasida hosil bo'lgan yadroni esa ikkilamchi yoki bola yadro deyiladi.

Atom α - va β - nurlar chiqarib, boshqa elementga aylanishiga α - va β - yemirilishlar deyiladi. γ - yemirilish so'zi esa ishlatilmaydi, chunki α - va β - yemirilishning o'zida γ -nurlanish ham bo'ladi. α - va β - yemirilishlar haqida alohida-alohida to'xtalib o'taylik.

1. α -yemirilish

α -zarralar – bu taxminan $\sim 20000 \text{ km/s}$ tezlik bilan harakatlanuvchi geliy yadrolari ekanligini aytgan edik. Yadrodan juda katta ($4-9 \text{ MeV}$) energiya bilan chiqqan bu geliy atomi yadrolari yo'lda uchragan moddani ionlashtirib tashlaydi. Normal sharoitda havoda 1 sm yo'lda o'rtacha 50 000 juft ion hosil qiladi. α -zarraning havoda erkin yugurish yo'li $2-12 \text{ sm}$ oralig'ida bo'lsa, qattiq jismlarda esa bir necha mikrometrga yetadi.

O'zidan α -zarra chiqargan X yadro spontan yemirilib boshqa Y yadroga aylanadi. Natijada, yadroning davriy sistema bo'yicha bir necha katakka siljishi sodir bo'ladi. α -yemirilishda siljish qoidasi quyidagicha bo'ladi:



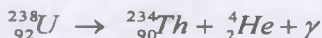
Yuqoridagi siljish formulasidan shunday xulosa qilish mumkin ekan:

α -yemirilishda yadro 2e ga teng musbat zaryadni yo'qotadi va protonlar soni 2 taga kamayadi, yadro massasi 4 atom massa birligiga kamayadi, element davriy sistemaning boshiga qarab 2 ta katakka siljiydi.

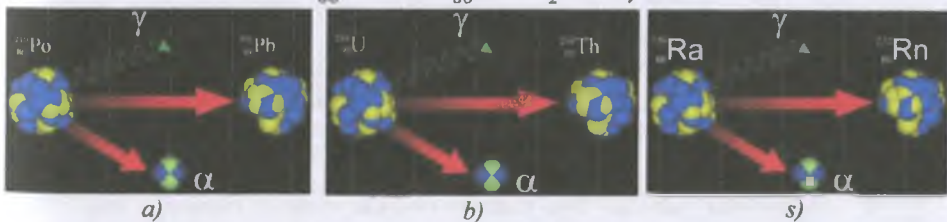
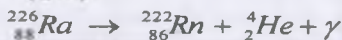
Masalan, Poloniy (${}^{210}_{86}\text{Po}$) yadrosi spontan yemirilish natijasida o'zidan α -zarra (${}^4_2\text{He}$) chiqarib qo'rg'oshin (${}^{206}_{84}\text{Pb}$) yadrosiga aylanar ekan (59.2-a,rasm).



α -yemirilishga yana boshqa misol keltiramiz. Uran (${}^{238}_{92}\text{U}$) yadrosi spontan yemirilish natijasida o'zidan α -zarra (${}^4_2\text{He}$) chiqarib Toriy (${}^{234}_{90}\text{Th}$) yadrosiga aylanar ekan (59.2-b,rasm).



Xuddi yuqoridagi kabi radiy (${}^{226}_{88}\text{Ra}$) yadrosi spontan yemirilish natijasida o'zidan α -zarra (${}^4_2\text{He}$) chiqarib radon gazi (${}^{222}_{86}\text{Rn}$) yadrosiga aylanar ekan (59.2-s,rasm).



59.2-rasm

α -yemirilish energiya chiqarish yoki energiya yutish orqali borish mumkin. Lekin, ko'pincha energiya chiqishi bilan boradi. Shuni eslatib o'tish kerakki, yemirilish jarayonida zaryad va massa saqlanadi. Reaksiya tenglamasida tenglamaning quyi indekslar yig'indisi o'zaro teng, shuningdek, yuqori indekslar yig'indisi ham o'zaro teng bo'ladi.

2. β -yemirilish

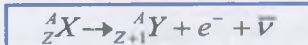
β -nurlar yorug'lik tezligiga yaqin tezlikda harakatlanuvchi elektronlar oqimi ekanligini aytib o'tgan edik. Ularning energiyasi ancha katta bo'lib $2,3 \text{ MeV}$ gacha yetadi. Bu energiya elektronning tinchlikdagi energiyasidan ham taxminan 5 marta kattadir. Moddaga tushganda α -zarraga nisbatan ancha kam ion (50 juftgacha ion) hosil qilgani

uchun β -zarralarning erkin yugurish yo'li α -zarralarnikiga nisbatan ancha katta bo'ladi. β -zarralarning erkin yugurish yo'li metallarda 3mm atrofida bo'lib, havoda esa bir necha yuz metrga yetishi mumkin.

O'zidan β -zarra chiqargan X yadro spontan yemirilib boshqa Y yadroga aylanadi. Natijada, yadroning davriy sistema bo'yicha bir katakka siljishi sodir bo'ladi. β -yemirilish uch xil bo'lish mumkin. β -yemirilishning uchala turida ham yadroning massa soni o'zgarmaydi. Lekin, yadro zaryadi bir birlikka o'zgaradi.

2.1) β^- -yemirilish.

Yemirilishning bu turi elektronli yemirilish deb atalib, bu yemirilish uchun siljish qoidasi quyidagicha bo'ladi:



β^- -yemirilishda yadrodan bitta elektron ajralib chiqadi, ya'ni yadrodagi bitta neytron proton, elektron va antineytrino (og'ir massali foton) ga aylanadi.



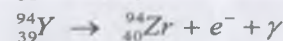
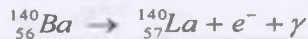
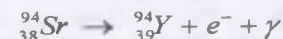
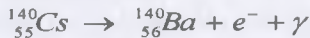
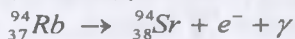
Yuqoridagi siljish formulasidan shunday xulosa qilish mumkin ekan:

β^- -yemirilishda yadro e ga teng manfiy zaryad yo'qotadi va protonlar soni 1 taga ortadi, yadro massasi deyarli o'zgarmaydi, element davriy sistemaning oxiriga qarab 1 ta katakka siljiydi.

Masalan, osmiy (${}_{76}^{191}\text{Os}$) yadrosi spontan yemirilish natijasida o'zidan β^- -zarra, ya'ni elektron (${}_1^0e$) chiqarib qo'rg'oshin (${}_{77}^{191}\text{Ir}$) yadrosiga aylanadi (59.3-a,rasm).

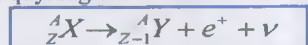


β^- (elektronli) yemirilishga yana boshqa misollar keltiramiz.

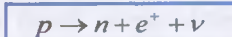


2.2) β^+ -yemirilish.

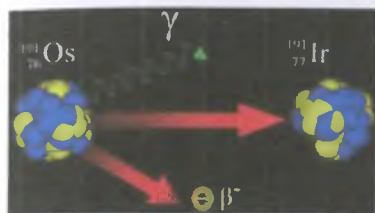
Yemirilishning bu turi pozitronli (elektronning antizarrasi) yemirilish deb atalib, bu yemirilish uchun siljish qoidasi quyidagicha bo'ladi:



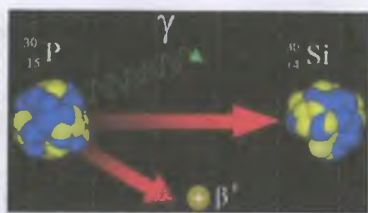
β^+ -yemirilishda yadrodan bitta pozitron (massasi elektron massasiga teng bo'lgan musbat zaryadli zarracha) ajralib chiqadi, ya'ni bitta proton neytron, pozitron va neytrinoga aylanadi.



β^+ -yemirilishda yadro e ga teng musbat zaryad yo'qotadi va protonlar soni 1 taga kamayadi, yadro massasi deyarli o'zgarmaydi, element davriy sistemaning boshiga qarab 1 ta katakka siljiydi.



a)



b)

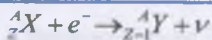
59.3-rasm

Masalan, fosfor ($^{30}_{15}\text{P}$) yadrosi pozitronli yemirilish natijasida o'zidan bitta pozitron ($^0_{-1}e$) chiqarib kremniy ($^{30}_{14}\text{Si}$) yadrosiga aylanar ekan (59.3-b,rasm).

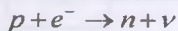


2.3) elektron yutish.

Yemirilishning elektron qamrash yoki elektron yutish deb ataluvchi turida siljish qoidasi quyidagicha bo'ladi:



β -yemirilishning uchinchi turi-elektron yutish jarayonida yadro o'ziga eng yaqin elektron qobiqdagi (asosan K-qobiqdagi) elektronni yutadi. Bu elektron yadrodagi biror proton bilan qo'shilib, neytron va neytrinoga aylanadi.



Elektron yutishda yadro e ga teng musbat zaryad yo'qotadi va protonlar soni 1 taga kamayadi, yadro massasi deyarli o'zgarmaydi, element davriy sistemaning boshiga qurab 1 ta katakka siljiydi.

Elektron yutish hodisasi keyingi L -, M -,... qobiqlar elektronlari bilan deyarli sodir bo'lmaydi.

Radioaktiv yemirilish natijasida hosil bo'lgan bola yadroning o'zi ham yana radioaktiv element bo'lishi mumkin. Shuning uchun, radioaktiv yemirilish jarayoni, odatda turg'un element bilan tugallanadigan radioaktiv elementlar zanjirini hosil qiladi. Elementlarning bunday zanjiriga **radioaktiv oila** deyiladi. Hozirgi vaqtda to'rtta radioaktiv oila bor: 1) Uran oilasi; 2) Aktiniy oilasi; 3) Toriy oilasi; 4) Neptuniy oilasi.

Radioaktiv yemirilish qonuni:

Hisoblarning ko'rsatishicha juda uzoq yashovchi uran $^{238}_{92}\text{U}$ izotopining 1mg massasida taxminan $2.5 \cdot 10^{18}$ ta atom bo'lib, har sekunda ulardan 12 tasi o'zidan α -zarra chiqarish hisobiga yemirilishga uchrab toriy $^{234}_{90}\text{Th}$ izotopiga aylanar ekan. Lekin, keyingi sekunda yana qaysi 12 ta yadro yemirilishiga uchrashini ayta olmaymiz. Faqat har sekunda yemiriladigan yadrolar soni $\left(\frac{dN}{dt}\right)$ berilgan namunadagi jami yadrolar soni N ga to'g'ri

proporsional ekanini ayta olamiz. Demak, $\frac{dN}{dt} \sim N$ bo'lar ekan. Proporsionallikdan tenglikka o'tish uchun nurlanishni xarakterlovchi konstanta kirgizamiz.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Bu yerda: λ -yemirilish doimiysi bo'lib, u radioaktiv element turiga bog'liq, $[\lambda] = [\text{s}^{-1}]$. Yemirilish doimiysi 1s vaqt ichida radioaktiv yadrolarning qancha qismi yemirilishini

bildiradi. Tenglikdagi (-) ishora yemirilish sodir bo'lganda jami yadrolar soni kamayishini bildiradi.

Yuqoridagi differensial tenglamani yechib, radioaktiv yemirilish tenglamasini hosil qilamiz.

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Buni quyidagicha isbotlaymiz: differensial tenglamadan $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$ ni aniqlab, uni integrallash orqali $\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$ ekanligini topamiz. Bundan

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t, \rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}, \rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ so'ralgan kattalik kelib chiqadi.}$$

Yuqoridagi radioaktiv yemirilish tenglamasi yemirilmay qolgan yadrolar sonini aniqlab beradi, ya'ni N_0 – dastlabki yadrolar soni, $N - t$ vaqt o'tgandan keyingi yadrolar soni.

Agar yuqoridagi ifodada $t = 1/\lambda$ bo'lsa, u holda $N = \frac{N_0}{e}$ bo'lar ekan. Bu vaqtni **o'rtacha yashash vaqti** deyiladi va τ harfi bilan belgilanadi.

Yemirilish doimiysi va o'rtacha yashash vaqti orasidagi bog'lanish quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

O'rtacha yashash vaqti shunday vaqtqi, bu vaqtda yadrolar soni $e = 2,718182...$ marta kamayadi.

Radioaktiv elementlar uchun o'rtacha yashash vaqtidan tashqari yana bir vaqt bor ekanki, bu vaqt davomida yadrolarning teng yarmi yemirilib boshqa yadroga aylangan ekan.

Har bir radioaktiv modda uchun aniq vaqt intervali mavjud bo'lib, shu vaqt davomida aktivlik ikki marta kamayadi va bu vaqtni yarim yemirilish davri deyiladi.

Agar $t = 0$ vaqtda radioaktiv elementning yadrolar soni $N = N_0$ ga teng bo'sa, $t = T$ vaqt (bitta yarim yemirilish davri) o'tgach atomlar soni $N_0/2$ ga teng bo'ladi, $t = 2T$ vaqt o'tgach esa $N = N_0/4$ ga teng bo'ladi va hokozo. Radioaktiv moddalar uchun ixtiyoriy t vaqt o'tgach yadrolar sonini topish uchun radioaktiv yemirilishning asosiy qonuni – yarim yemirilish qonuni quyidagicha bo'ladi:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

Bu yerda: N_0 – dastlabki yadrolar soni, N – yemirilmay qolgan yadrolar soni.

Yemirilish doimiysi, o'rtacha yashash vaqti va yarim yemirilish davri orasida quyidagicha bog'liqlik mavjud:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2}$$

Buni quyidagicha isbotlaymiz: radioaktiv yemirilish va yarim yemirilish tenglamalari $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 e^{-\lambda t}$ ni tenglashtirishdan so'ralgan bog'lanishni aniqlaymiz. Hosil bo'lgan

$$2^{-\frac{t}{T}} = e^{-\lambda t} \text{ ifodada } t = T \text{ desak, } 2^{-\frac{T}{T}} = e^{-\lambda T}, \rightarrow 2^{-1} = e^{-\lambda T}, \rightarrow 2^{-1} = e^{-1}, \rightarrow 2^{-1} = e^{-1}, \rightarrow \frac{T}{T} = \log_2 e = \frac{1}{\ln 2}, \rightarrow T = \frac{T}{\ln 2}$$

aniqlanish kerak bo'lgan ifoda kelib chiqadi.

Yemirilish natijasida boshqa yadroga aylangan yadrolar soni quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right)$$

Yuqoridagi formuladan radioaktiv elementning yarim emirilish davri T quyidagicha topiladi:

$$T = \frac{t}{\log_2(N_0 / N)}$$

Agar radioaktiv moddaning atomlar soni t vaqt o'tgach k ($k = N_0 / N$) marta kamaygan bo'lsa, u xolda moddaning yarim emirilish davri quyidagicha topiladi:

$$T = \frac{t}{\log_2 k}$$

Yuqorida aniqlangan λ, τ, T kattaliklarning faqat radioaktiv element turigagina bog'liq bo'lib, tashqi ta'sirlarga (yorug'lik, issiqlik, elektr toki, bosim, elektr va magnit maydonlari) hamda radioaktiv elementning qaysi birikma tarkibida ekanligiga umuman bog'liq emas.

Nurlanish aktivligi:

Tarkibida radioaktiv elementlar bo'lgan moddalarga **radioaktiv preparatlar** deyiladi. Radioaktiv preparatlarning xarakteristikasi sifatida preparat aktivligi tushunchasi kiritiladi.

Yuqoridagi mavzuda biz radioaktivlik tenglamasini keltirib chiqarishda $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ifodadan foydalangan edik. Bunda $A = \frac{dN}{dt}$ deb belgilash kiritsak, ushbu

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda A$$

tenglama kelib chiqadi.

Yuqoridagi differensial tenglamani yechib, radioaktiv yemirilish uchun aktivlik tenglamasini hosil qilamiz.

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Buni quyidagicha isbotlaymiz: differensial tenglmadan $\frac{dA}{A} = -\lambda dt$ ni aniqlab, uni integrallash orqali $\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$ ekanligini topamiz. Bundan

$$\ln \frac{A}{A_0} = -\lambda t, \rightarrow \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t}, \rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t} \text{ so'ralgan kattalik kelib chiqadi.}$$

Yuqoridagi aktivlik tenglamasi aktivlikning eksponensial holda kamayishini aniqlab beradi, ya'ni A_0 – dastlabki aktivlik, $A - t$ vaqt o'tgandan keyingi aktivlik.

Radioaktiv preparatning aktivliga vaqt birligi ichidagi yemirilishlar sonini ifodalaydi.

Agar 1s vaqt ichida 1ta yemirilish sodir bo'lsa, bunday preparatning aktivligi **1Bk** (**Bekkerel**) deyiladi.

$$1 \text{ Bk} = \frac{1 \text{ yemirilish}}{1 \text{ sekund}}$$

Yadro fizikasiga oid adabiyotlarda aktivlikning kattaroq o'lchov birliklari Ku (Kyuriy) va Rd (Rezerford) uchraydi.

Massasi $1g$ bo'lgan radiyda har sekundda $3,7 \cdot 10^{10}$ ta atom yadrosi yemirilib, bu aktivlikni $1Ku$ deb belgilash qabul qilingan.

$$1 Ku = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bk}$$

$1s$ vaqt ichida 10^6 ta yemirilish sodir bo'ladigan aktivlikka $1Rd$ deyiladi.

$$1 Rd = 10^6 \text{ Bk}$$

Nurlanish aktivligi nurlanish manbaiga bog'liq bo'lgan kattalik bo'lsa, manbaga bog'liq bo'lmagan nurlanish dozasi deb ataluvchi kattalik ham borki, bu kattalik nurlanishning moddalar yoki tirik organizmlar tomonidan yutilishini xarakterlaydi.

Nurlanish dozasi:

Radioaktiv moddalarning nurlanishi barcha tirik organizmlarga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Organizm hujayralarining hayot faoliyatini izdan chiqarish uchun energiyasi batamom yutilganda jismning temperaturasini $10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}$ gina ko'tara oladigan nurlanish kifoya qiladi. Tirik hujayra – ba'zi qismlari hatto salgina buzilganda ham o'zining normal faoliyatini davom ettira olmay qoladigan murakkab mexanizmdir. Intensivligi juda oz bo'lgan nurlanishlar ham hujayraga jiddiy shikast yetkazishi va havfli kasalliklar (nur, rak) ni keltirib chiqarishi mumkin. Nurlanish intensivligi katta bo'lganda tirik organizmlar nobud bo'ladi, bu jarayonda tirik organizm hech qanday og'riq sezmaydi. Nurlanish xromosomalardagi genlarni nobud qilishi natijasida naslga kuchli ta'sir ko'rsatadi.

Tirik organizmlarga nurlanishning ta'siri nurlanish dozasi (yutilgan doza) bilan xarakterlanadi. Nurlanayotgan moddaning birlik massasiga to'g'ri keluvchi yutilgan ionlovchi nurlanish energiyasi **nurlanish dozasi** deyiladi va u D harfi bilan belgilanib, quyidagicha topiladi:

$$D = \frac{E}{m}$$

SI sistemasida yutilgan nurlanish dozasi Grey (Gr) birligida o'lchanadi. $1 Gr$ nurlantirilayotgan $1 kg$ massali moddaga $1 J$ ionlovchi nurlanish energiyasi uzatilganda yutilgan nurlanish dozasi ga tengdir.

$$1 Gr = 1 \frac{J}{kg}$$

Tabiiy radiatsiya (kosmik nurlar, atrof muhitning va inson tanasining radiatsiyasi) foni yiliga bir odamga $2 mGr$ nurlanish dozasi ni beradi. Radiatsion muhofaza bo'yicha xalqaro komissiya nurlanishlar bilan ishlovchi kishilar uchun mumkin bo'lgan chegaraviy doza deb $0,05 Gr$ ni belgilagan. Qisqa muddat ichida olingan $3-10 Gr$ nurlanish dozasi o'limga olib keladi.

Birlik vaqt ichidagi nurlanish dozasi ga nurlanish dozasi quvvati (yutilgan doza quvvati) deyiladi.

$$N = \frac{D}{t}$$

Doza quvvati birligi qilib Gr/s olingan.

Nurlanish manbaining geometrik o'lchamlariga va xossalriga bog'liq bo'lib, zarra energiyasi va turi uchun bir xil bo'lgan nurlanish dozasi ga **ekspozitsion doza** deyiladi.

Amalda birliklar sistemasiga kirmaydigan ekspozitsion dozaning *rentgen* (R) deb ataluvchi birligi keng qo'llaniladi. $1R$ deb $0^{\circ}C$ temperatura va 760 mm simob ust. bosimida 1 sm^3 quruq havoda hosil qilingan har bir ishorali ionlar yig'indi zaryadi alohida olinganda $3 \cdot 10^{-10}\text{ Kl}$ ni tashkil qiladigan nurlanish dozasi ga aytiladi.

Quruq atmosferaning ionlanish effekti bo'yicha baholanadigan nurlanishning energetik xarakteristikasi rentgen va γ -nurlanishning ekspozitsion dozasi deyiladi. Si sistemasida bu doza Kl/kg birligida o'lchanadi. $1 R$ bu birlik bilan quyidagicha bog'langan:

$$1P = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Kl/kg}$$

Rentgen nurlari yoki γ -kvantlardan boshqa zarralar hosil qilgan nurlanish dozasi rentgenning fizik ekvivalenti, ya'ni fer birligida o'lchanadi. Normal sharoitdagi 1 sm^3 quruq havoda $2,08 \cdot 10^3$ ta ionlar juftini hosil qiluvchi ekspozitsion dozaga 1 fer deyiladi.

Yadroviy nurlanishlar moddalarida turli kimyoviy reaksiyalarni yuzaga keltiradi. Bu reaksiyalar mexanizmini quyidagicha tushuntirish mumkin. Yadroviy nurlanish oqimi o'zi o'tayotgan muhit molekularini uyg'otishi, ionlashi va dissotsiatsiyalashi mumkin. Bular hisobiga yuzaga kelgan uyg'ongan molekula va ionlar kimyoviy reaksiyalarga kirishadi. Bunday reaksiyalarda nurlanishga duchor bo'lmagan molekular ham ishtirok qilishi mumkin.

Radiatsion nurlanishdan muhofaza qilishning eng oddiy usuli odamlarni nurlanish manbaidan yetarlicha katta masofaga uzoqlashtirishdir. Hatto havoda yutilishini nazarga olmaganda ham radioaktivlik intensivligi manbagacha bo'digan masofaning kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayadi. Shuning uchun, radioaktiv preparatli ampulalarni qo'l bilan ushlab bo'lmaydi. Ularni uzun dastali qisqichlar bilan ushlash kerak. Nurlanish manbaidan yetarlicha masofaga ketish mumkin bo'lmagan hollarda nurlanishdan muhofaza qilish uchun yutuvchi materiallardan qilingan to'siqlardan foydalaniladi.



1. Radioaktivlik deb nimaga aytiladi? Uni birinchi bo'lib kim kashf qilga?
2. α -, β -, γ -nurlar nima?
3. α -emirilishni va undagi siljish qoidasini tushuntiring.
4. β -emirilishni, uning turlarini va ulardagi siljish qoidalarini tushuntiring.
5. Radioaktiv emirilish qonunini yozing. Yarim emirilish davri, o'rtacha yashash vaqti va parchalanish doimisi tushuntiring va ularni bog'lovchi formulalarni yozing.
6. Nurlanish aktivligi nima? U vaqtga qanday bog'langan? Aktivlikning o'lchov birliklarini aytib bering.
7. Nurlanish dozasi nima? Uning o'lchov birligini ta'riflang.
8. Nurlanish dozasi quvvati nima? Uning o'lchov birligi nima?
9. Ekspozitsion doza nima? Uning o'lchov birligi nima?



§ 60. ATOM YADROLARINING UMUMIY XARAKTERISTIKASI.

Yadro tuzilishi to'g'risida umumiy tushuncha:

Radioaktivlikning kashf etilishi davriy sistemadagi atom yadrolari murakkab tuzilishga ega ekanligini ko'rsatadi. Rezerford taklif etgan atomning yadro modeliga ko'ra atomning deyarli barcha ($99,9\%$ dan ko'p) massasi juda kichik hajmdagi yadro deb ataluvchi hajmda mujassamlashgan. Masalan, masalalarda ko'p duch keladigan vodorod atomini olaylik. Odatda atom o'lchamlari bilan angsterm ($1\text{ \AA} = 10^{-10}\text{ m}$) o'lchamidan, yadro

o'Ichami bilan ishlaganda esa fermi ($1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$) o'Ichamidan foydalaniladi. Shu vodород atomining o'Ichami Bor nazariyasiga ko'ra $d = 1,06 A \approx 1A$ bo'ladi. Yadroni turli zarralar bilan bombardimon qilish natijasida olingan natijalarga asosan proton va neytroning o'Ichamlari taxminan $d \approx 1\text{fm}$, turli yadrolarning o'Ichamlari esa $d \approx 1-10\text{fm}$ oralig'idabo'ladi. Bundan ko'rinib turibdiki, atom va yadro o'Ichamlari nisbati $10^4 - 10^5$ ga teng bo'lsa, ularning hajmlari nisbati esa chiziqli o'Ichamlari nisbatining kubiga teng, ya'ni $10^{12} - 10^{15}$ ga teng bo'ladi. Agar vodrod atomini diametri $d_{\text{atom}} = 40\text{sm}$, massasi $m_{\text{atom}} = 20\text{kg}$ bo'lgan katta tarvuzga qiyoslasak, uning yadrosini esa diametri $d_{\text{yadro}} = 4\text{mkm}$, massasi $m_{\text{yadro}} = 19,989\text{kg}$ bo'lgan ko'rinmas nuqtaga qiyoslash mumkin bo'ladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, tarvuz zichligini $\rho_{\text{atom}} \sim 10^3\text{kg/m}^3$ desak, uning yadrosi zichligini esa $\rho_{\text{yadro}} \sim 10^{18}\text{kg/m}^3$ deyish mumkin. Agar bir dona bug'doy donini g'ovaklarsiz faqat yadrolardan iborat deb faraz qilinsa, uning massasi katta neft tashuvchi tanker kemasidan ham og'ir bo'lar edi. Xuddi shuningdek, radiusi 200m bo'lgan sharni yadro deb faraz qilsak, uning massasi Yerning massasi bilan bir xil bo'lar edi. Umuman olganda, yadro o'Ichami undagi nuklonlar soniga bog'liq bo'lib, quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$R = r_0 \sqrt[3]{A}$$

Bu yerda: $r_0 = 1,3-1,4\text{fm}$ oralig'ida bo'lib, bu kattalik turli tajribalar natijasida olingan; A – yadroning massa (nuklon) soni.

Rezerforddan keyin Chadvik, Van-den-Bruk kabi olimlar yadro zaryadini o'Ichashga muvaffaq bo'ldilar. Ular elementlarning yadro zaryadlari uning davriy sistemadagi tartib raqamini ko'rsatishini aniqlashdilar. Ximiyaviy elementlarning davriy sistemadagi o'rnini bu elementlarning massasi bilan emas, balki ular yadrosining zaryadi bilan aniqlanar ekan. Davriy sistemada jadval oxiriga qarab bir katakka sijiganda yadro zaryadi ham bir birlikka oshadi. Yadro eng kichik zaryad – elektronning zaryadi ($e = 1,6021 \cdot 10^{-19}\text{Kl}$) ga karrali, ya'ni $q_z = +e, +2e, +3e, \dots, +Ne$ bo'lgan musbat ishorali zaryadga ega.

1932 yilda Chadvik neytronni kashf qilgandan so'ng yadro fizikasi gurkirab rivojlandi. O'sha yili olimlar Ivanenko va Geyzenberglar mustaqil ravishda yadroning hozirgi kundagi proton-neytron modelini qabul qilishdilar. Bu modelga ko'ra yadro Z dona protondan hamda $A-Z$ dona neytrondan tashkil topgan. Keyinchalik proton va neytronlarni bir so'z bilan nuklonlar (nuklid-yadroga oid degani) deb atash odat tusiga kirdi. Bu yerda: A – yadroning nuklonlar soni, yoki nisbiy atom massasi. Boshqacha aytganda, yadro massasi nisbiy atom massasi $1\text{m.a.b} \approx 1,6605 \cdot 10^{-27}\text{kg}$ dan necha marta og'ir ekanini ko'rsatadi. Yadroning massa soni (nuklonlar soni) yadrodagi protonlar va neytronlar soni yig'indisiga teng bo'ladi.

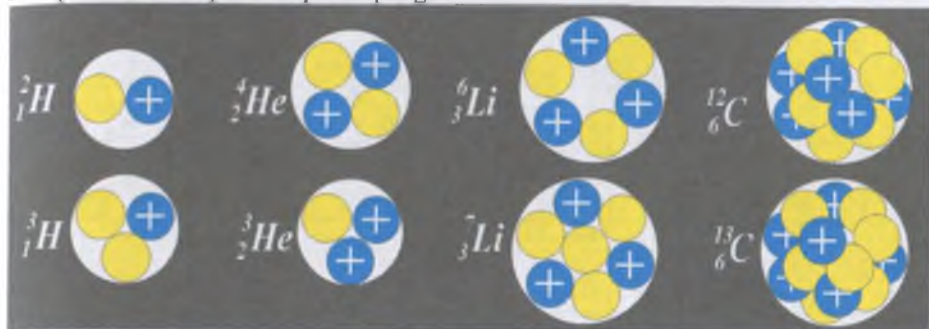
$$A = Z + N$$

Kimyoviy element atomining yadrosi musbat zaryadlangan proton va elektr zaryadga ega bo'lmagan neytronlardan iborat. Proton va neytronlarni nuklonlar deb ataladi.

Yadrolarni belgi davriy sistemadagi kabi belgilanib, uning quyi va yuqori indekslariga mos holda zaryad soni va massa (nuklonlar) soni yoziladi.



Bu yerda: X – element, A – yadro massa (nuklon) soni, Z – yadroning zayad soni, $N = A - Z$ – yadrodagi neytronlar soni. Atomlar massasi butun sondan birmuncha farq qiladi. Yadroning *m.a.b.* dagi qiymatiga eng yaqin bo'lgan butun songa yadroning massa soni (nuklonlar soni) A deb qabul qilingan.



60.1-rasm

Masalan, massa soni 58 bo'lgan nikel yadrosi $^{58}_{28}\text{Ni}_{30}$, massa soni 238 bo'lgan uran yadrosi $^{238}_{92}\text{U}_{146}$ ko'rinishida beriladi. 60.1-rasmida ba'zi yengil elementlarning yadrolari tasvirlangan.

60.2-rasmida davriy sistemadagi barcha elementlarning nisbiy atom massalari hamda 60.3-rasmida esa ularning zaryad sonlari (tartib raqamlari) tasvirlangan.

1/IA																18/IIA																			
1.007																4.002																			
H		2/IIA														13/IIIA 14/IVA 15/VA 16/VIA 17/VIIA										He									
6.941		9.012														10.81 12.01 14.00 15.99 18.99										20.17									
Li		Be														B C N O F Ne																			
22.98		24.30														26.98 28.08 30.97 32.06 35.45 39.94																			
Na		Mg		3/IIIB		4/IVB		5/VB		6/VIB		7/VIIB		8/VIII		9/VIII		10/VIII		11/IB		12/IIIB		Al		Si		P		S		Cl		Ar	
39.09		40.07		44.95		47.85		50.94		51.99		54.93		55.84		58.93		58.69		63.54		65.38		69.72		72.61		74.92		78.95		79.90		83.80	
K		Ca		Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe		Co		Ni		Cu		Zn		Ga		Ge		As		Se		Br		Kr	
85.46		87.62		88.90		91.22		92.90		95.94		98.00		101.0		102.9		106.4		107.8		112.4		114.8		118.7		121.7		127.5		126.9		131.2	
Rb		Sr		Y		Zr		Nb		Mo		Tc		Ru		Rh		Pd		Ag		Cd		In		Sn		Sb		Te		I		Xe	
132.9		137.3		138.9		178.4		180.9		183.8		186.2		190.2		192.2		195.0		196.9		200.5		204.3		207.1		208.9		209.0		210.0		222.0	
Cs		Ba		La		Hf		Ta		W		Re		Os		Ir		Pt		Au		Hg		Tl		Pb		Bi		Po		At		Rn	
223.0		226.0		227.0																															
Fr		Ra		Ac																															
Lanthanides ->						Ce		Pr		Nd		Pm		Sm		Eu		Gd		Tb		Dy		Ho		Er		Tm		Yb		Lu			
						140.1		140.9		144.2		145.0		150.3		151.9		157.2		158.9		162.5		164.9		167.2		168.9		173.0		174.9			
						232.0		231.0		238.0		237.0		244.0		243.0		247.0		247.0		251.0		252.0		257.0		258.0		259.0		260.0			
Actinides ->						Th		Pa		U		Np		Pu		Am		Cm		Bk		Cf		Es		Fm		Md		No		Lr			

60.2-rasm

Shuni ham alohida eslatib o'tish kerakki, yuqoridagi rasmda berilgan qiymatlar atomlarning nisbiy atom massalaridir. Yadrolarning nisbiy atom massalarini topishda atomning nisbiy atom massasidan elektronlarning nisbiy atom massalarini ayirish kerak bo'ladi.

$$m_{\text{yadro}} = m_{\text{atom}} - Z \cdot m_e$$

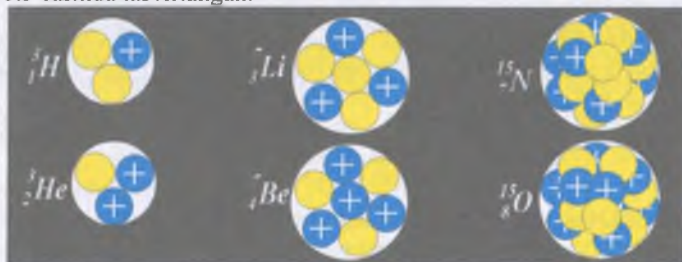
deyteri ${}^2_1\text{H}$ izotoplari turg'un bo'lsa, tritiy ${}^3_1\text{H}$ izotopi esa turg'unmas. Xuddi shuningdek, litiyning ${}^6_3\text{Li}$ izotopi, kislorodning ${}^{16}_8\text{O}$ izotopi, stronsiyning ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ izotopi, bariyning ${}^{140}_{56}\text{Ba}$ izotopi va boshqa izotoplar turg'unmas izotoplardir.

1/IA																		18/VIIA
2																		2
H	2/IIA																	He
2	1																	3
Li	Be																	4
1	3																	5
Na	Mg	3/IIIB	4/IVB	5/VB	6/VIIB	7/VIIB	8/VIII	9/VIII	10/VIII	11/IB	12/IB	Al	Si	P	S	Cl	Ar	6
3	6	1	5	2	4	1	4	1	5	2	5	2	5	1	6	2	6	7
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	8
2	4	1	5	1	7	0	7	1	6	2	8	2	10	2	8	1	9	9
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	10
1	7	2	6	2	5	2	7	2	6	1	7	2	4	1	0	0	0	11
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	12
0	0	0																13
Fr	Ra	Ac																14
Lanthanides →																		15
																		16
Actinides →																		17
																		18

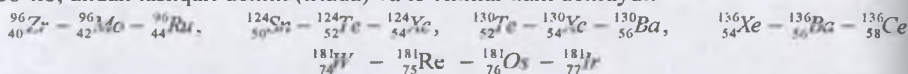
60.4-rasm

Tabiiy holatda izotoplar qazilma rudaning tarkibida aralashma holatda uchraydi. Davriy sistemadagi beriladigan nisbiy atom massasi ana shu aralashmaning nisbiy atom massasidir. Masalan, tabiiy litiy ${}^6_3\text{Li}$ va ${}^7_3\text{Li}$ izotoplarining har xil nisbatdagi aralashmasidan iborat bo'lib, uning nisbiy atom massasi davriy sistemada 6,941 deb beriladi. Izotoplar bir xil ximiyaviy va optik xususiyatga ega. Haqiqatan ham atomning ximiyaviy va fizik xususiyatlarini massa soni emas, balki zaryad soni belgilaydi. Masalan, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{17}_8\text{O}$, ${}^{18}_8\text{O}$ izotoplarining massalari har xil bo'lishiga qaramasdan, ular ayni bir elementning atomlaridir. Shuningdek, ${}^{15}_7\text{N}$ va ${}^{15}_8\text{O}$ atomlar bir xil massaga ega bo'lishiga qaramasdan, ular turli ximiyaviy elementlarning atomlaridir.

Bir xil massa soni (A)ga, ammo har xil zaryad soni (Z)ga ega bo'lgan bo'lgan yadrolarga **izobarlar** deyiladi. Boshqacha aytganda, izobarlarda protonlar soni har xil, neytronlar soni esa har xil yoki bir bo'ladi. Masalan, ${}^3_1\text{H} - {}^3_2\text{He}$, ${}^7_3\text{Li} - {}^7_4\text{Be}$ hamda ${}^{15}_7\text{N} - {}^{15}_8\text{O}$ izobarlari 60.5-rasmda tasvirlangan.



Tajribalarning ko'rsatishicha $A = 36$ dan boshlab massa soni juft bo'lgan yadrolarning izobarlari juft-juft bo'lib uchraydi. Masalan, $^{36}_{16}S - ^{36}_{18}Ar$, $^{40}_{18}Ar - ^{40}_{20}Ca$, $^{46}_{20}Ca - ^{46}_{22}Ti$ va boshqa juftliklarni misol qilish mumkin. Davriy sistemada jami 58 ta izobarlar mavjud bo'lib, undan tashqari uchlik (triada) va to'rtliklar ham uchraydi.



Izobarlarda massa soni bir xil bo'lishidan tashqari zaryad soni ham bir xil bo'lgan yadrolar uchraydiki, ular ayni bir element yadrosi bo'lishiga qaramasdan, ularning radioaktivligi turlicha bo'ladi. Bunga *izomeriya* xossasi deyiladi. *Izomerlar* – ayni bir turdagi, lekin radioaktivligi turlicha bo'lgan yadrolardir. Hozirda 300 dan ortiq izomer yadrolar aniqlangan.

Bir xil sonli neytronlarga, lekin har xil sondagi protonlarga ega bo'lgan yadrolarga *izotonlar* deyiladi. Izoton yadrolarga 1ta neytronga ega bo'lgan $^1_1H - ^1_2He$, 2ta neytronga ega bo'lgan $^4_2He - ^4_3Li$, 3ta neytronga ega bo'lgan $^6_3Li - ^6_4Be$, 5ta neytronga ega bo'lgan $^8_4Be - ^8_5B$, 6ta neytronga ega bo'lgan $^{11}_5B - ^{11}_6C$, 7ta neytronga ega bo'lgan $^{13}_6C - ^{13}_7N$, 8ta neytronga ega bo'lgan $^{15}_7N - ^{15}_8O$, 10ta neytronga ega bo'lgan $^{18}_8O - ^{18}_9F$, 11ta neytronga ega bo'lgan $^{19}_9F - ^{19}_{10}Ne$, 12ta neytronga ega bo'lgan $^{22}_{10}Ne - ^{22}_{11}Na$, 12ta neytronga ega bo'lgan $^{24}_{12}Mg - ^{24}_{13Al}$, 14ta neytronga ega bo'lgan $^{26}_{13}Al - ^{26}_{14Si}$, 16ta neytronga ega bo'lgan $^{30}_{14}Si - ^{30}_{15}P$, 16ta neytronga ega bo'lgan $^{32}_{16}S - ^{32}_{17Cl}$, 18ta neytronga ega bo'lgan $^{34}_{17}Cl - ^{34}_{18Ar}$, 20ta neytronga ega bo'lgan $^{36}_{18}Ar - ^{36}_{19K}$, 20ta neytronga ega bo'lgan $^{40}_{20}Ca - ^{40}_{21Sc}$ yadrolarini misol qilish mumkin.

Protiiy ^1_1H dan boshqa barcha element yadrolarida neytron mavjud bo'lib, barcha yadrolarda $\frac{Z}{N} \geq 1$ shart bajariladi. Masalan, ^4_2He , ^6_3Li , $^{10}_5B$, $^{12}_6C$, $^{14}_7N$, $^{16}_8O$, $^{20}_{10}Ne$, $^{24}_{12}Mg$, $^{28}_{14}Si$, $^{32}_{16}S$, $^{40}_{20}Ca$ yadrolari uchun $\frac{Z}{N} = 1$ bo'lsa, $^{22}_{10}Ne$ uchun $\frac{Z}{N} = 1,2$, $^{90}_{42}Zr$ uchun $\frac{Z}{N} = 1,25$, $^{142}_{60}Nd$ uchun $\frac{Z}{N} = 1,36$, $^{202}_{80}Hg$ uchun $\frac{Z}{N} = 1,52$ va hokozaga bo'ladi.



1. Yadroning hozirgi kundagi proton-neytron modeliga kim asos solgan?
2. Yadro o'Ichamini aniqlovchi formulani yozing.
3. Izotop nima? Izotoplarga bir nechta misollar keltiring.
4. Izoton nima? Izotonlarga bir nechta misollar keltiring.
5. Izobar nima? Izobarplarga bir nechta misollar keltiring.
6. Izomer yadro nima?
7. Elektron, proton, neytronlarning massalarini va tinchlikdagi energiyalarini yozing.



§ 61. BOG'LANISH ENERGIYASI, SOLISHTIRMA BOG'LANISH ENERGIYASI VA MASSA DEFECTI. YADRONI TAVSIFLOVCHI MODELLAR.

Yadro kuchlari:

Geliy yadrosida ta'sirlashuvchi ikki protonning ta'sir kuchi Kulon qonuniga asosan

$$F_K = k \frac{e^2}{r^2} \sim 100 N$$

kuch bilan itarishadi. Og'ir yadrolarda Kulon kuchining qiymati bundan ham ancha katta bo'ladi. Chunki, yadrodagi har bir proton qolgan protonlar tomonidan itarilib turadi. Natijada, yadrodagi protonlar bir-biridan itarilib sochilib ketish kerak edi. Shunday bo'lsa-da davriy sistemadagi element yadrolari barqaror. Shunchalik katta itarishish

kuchini muvozonatlab turadigan kuch qanday kuch ekan degan savol tug'ilishi tabiiy. Balki bu kuch gravitatsion kuchidir. U holda gravitatsion kuchining qiymati o'sha geliy yadrosidagi ikki proton uchun butun olam tortish qonuniga asosan

$$F_G = G \frac{m_p^2}{r^2} \sim 10^{-35} N$$

bo'ladi. Demak, Kulon kuchi gravitatsion kuchidan $\sim 10^{37}$ marta katta bo'lgani uchun, gravitatsion kuch muvozonatlovchi kuch bo'lolmas ekan. Shuning uchun, barqaror yadrolar mavjudligini ular ichida tortish xarakteriga ega bo'lgan juda ulkan kuch – yadro kuchi bilan tushuntiriladi.

Yadrodagi protonlar va neytronlar orasidagi kuchlarga **yadro kuchlari** deyiladi. Yadroviy kuchlarning xususiyatlari tajribalarda juda yaxshi o'rganilgan bo'lib, yadro kuchlari asosan quyidagi xossalarga ega:

a) tortishish xossasiga ega, ya'ni nuklonlar orasidagi masofa $r = 1 - 2 fm$ bo'lganda yadroviy kuchlar tortishish xarakteriga ega bo'lib, u Kulon kuchidan 100 martalab katta bo'ladi;

b) juda qisqa masofada ta'sirlashadi, ya'ni nuklonlar orasidagi masofa $r < 1 fm$ bo'lganda yadroviy kuchlar itarishish xarakteriga ega;

c) yadroviy kuchning miqdori nuklonlarning zaryadi bor yo'qligiga qaramaydi, ya'ni yadro kuchlari proton-proton, proton-neutron, neutron-neutron orasida bir xil bo'ladi;

d) yadroviy kuchlar to'yinish xarakteriga ega, ya'ni har bir nuklon yadrodagi qolgan barcha nuklonlar bilan emas, balki o'ziga yaqin joylashgan bir nechta nuklon bilan yadroviy kuch bilan ta'sirlashadi. Buni xuddi ximiyadagi valentlikka o'xshatish mumkin. Atomlar bir-biri bilan valent elektronlar vositasida bog'langani kabi yadro kuchlarida ham nuklonlar bir-birlari bilan vositachi zarra orqali ta'sirlashadi. Bu zarra π -mezon deb atalib, uning π^+ , π^0 , π^- deb atavuchi 3ta turi bor. Nuklonlar ana shu uchta zarradan birini yutib yoki chiqarib turishi natijasida yadroviy bog' hosil bo'ladi.

Yadroviy kuch (kuchli o'zaro ta'sir) fundamental 4 ta ta'sirdan 3-sidir. Atom reaktorlarining ishlashi, atom va vodorod bombalarida zanjir yadro reaksiyalari, Quyosh va yulduzlar bag'ridagi termoyadro reaksiyalari ana shu kuchli o'zaro ta'sir natijasidir.

Bog'lanish energiyasi, solishtirma bog'lanish energiyasi va massa defekti:

Har bir element izotoplarining massalari mass-spektrometr deb ataluvchi qurilma yordamida juda ham aniq o'lchanadi. Ushbu asbob bilan o'lchashlar natijasida shu narsa aniq bo'ldiki, yadroning massasi bu yadro tarkibidagi nuklonlar massalari yig'indisidan kichik ekan. Masalan, geliy (${}^4_2He$) yadrosining massasi $4,002603 m.a.b$ ga teng. Bu yadroni hosil qiluvchi ikkita proton va ikkita neytronlar massalarining yig'indisi $2m_p + 2m_n = 2 \cdot (1,007276 + 1,008665) = 4,031882 m.a.b$ ga teng. Demak, geliy (${}^4_2He$) yadrosining massasi bu yadroni tashkil qilgan nuklonlar massalari yig'indisidan $\Delta m = 2 \cdot (m_p + m_n) - m_{He} = 4,031882 - 4,002603 m.a.b = 0,029279 m.a.b$ ga kam bo'lar ekan. Bu holni quyidagicha tushuntiramiz:

Nuklonlar bitta joyda bir-biri bilan bog'langan holni va ular bir-biridan juda uzoqda bo'lgan ikki holni ko'z oldimizga keltiraylik. Ana shu holatlar orasida Δm massalar farqi vujudga kelyapti. Bu massalar farqini **massa defekti** deb ataladi. Massa defekti nuklonlar massalari yig'indisidan yadro massasining ayirmasiga teng bo'ladi.

$$\Delta m = Z m_p + N m_n - m_{\text{yadro}}$$

Bu nuklonlarni bir-biridan cheksiz uzoqlashtirish uchun tashqaridan biror ΔE energiya sarflanadi. Nisbiylik nazariyasida massa va energiya orasida bog'lanishni esga olaylik.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Yuqoridagi formulaga asosan, geliy yadrosini nuklonlarga parchalash, ya'ni nuklonlar orasidagi bog'larni uzib tashlash uchun $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,029279 \text{ m.a.b.} \cdot 932,9 \text{ MeV} = 27,314 \text{ MeV}$ energiya sarflanish kerak ekan.

Shunday qilib, yadroni tashkil qilgan nuklonlar orasidagi bog'larni uzib tashlash uchun kerak bo'lgan energiyaga **bog'lanish energiyasi** deyiladi. Bog'lanish energiyasining qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$E_{\text{bog}} = (Z m_p + N m_n - m_{\text{yadro}}) c^2$$

Bog'lanish energiyasining yadrodagi nuklonlar soniga nisbatiga **solishtirma bog'lanish energiyasi** deyiladi. Yadrodan bitta nuklonni uzib chiqarish uchun kerak o'tacha energiya solishtirma bog'lanish energiyasiga teng bo'ladi.

$$\omega = \frac{E_{\text{bog}}}{A}$$

Solishtirma bog'lanish energiyasi $\frac{J}{\text{nuklon}}$ yoki $\frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$ larda o'lchanadi.

Yadroning bog'lanish energiyasi hamda uning solishtirma bog'lanish energiyasini yaxshiroq tushunish uchun quyidagi misol bilan tanishaylik.

Misol:

Litiyning ${}^7_3\text{Li}$ izotopi yadrosini nuklonlarga parchalab tashlash uchun qancha energiya sarflash kerak bo'ladi? Yadrodan har bitta nuklonni uchun o'rta hisobda qancha energiya zarur bo'ladi?

Yechish:

${}^7_3\text{Li}$ izotopi yadrosining hamda proton va neytronning nisbiy atom massalarini yuqorida keltirilgan jadvaldan foydalanib $m({}^7_3\text{Li}) = 7,016004 \text{ m.a.b.}$, $m_p = 1,007276 \text{ m.a.b.}$, $m_n = 1,008665 \text{ m.a.b.}$ ekanini topamiz. Massa defekti $\Delta m = Z m_p + N m_n - m_{\text{yadro}} = 3 \cdot 1,007276 + 4 \cdot 1,008665 - 7,016004 = 3,021828 + 4,03466 - 7,016004 = 0,040484 \text{ m.a.b.}$ ekan kelib chiqadi. Massasi 1 m.a.b. bo'lgan zarraning tinchlikdagi energiyasi $E_0 = 932,9 \text{ MJ}$ ekanligini bilgan holda bog'lanish energiyasi $\Delta E = \Delta m \cdot E_0 = 0,040484 \text{ m.a.b.} \cdot 932,9 \text{ MJ} = 37,768 \text{ MJ} = E_{\text{bog}}$ bo'lishi kelib chiqadi. Har bir nuklonni yadrodan uzish uchun esa o'rta $\omega = \frac{E_{\text{bog}}}{A} = \frac{37,768}{7} = 5,395 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{nuklon}} \right]$ energiya sarflash kerak bo'ladi.

Yadrolarning bog'lanish energiyalarini aniqlash uchun bu yadroning massasini yoki nisbiy atom massasini bilish yetarlidir. Quyidagi jadvalda masalalar yechishda ko'p uchraydigan ba'zi izotop atomlarining nisbiy atom massalari (*m.a.b*) keltirilgan.

61.1-jadval

$m({}_1^2H) = 2,014102$	$m({}_7^{14}N) = 13,999234$	$m({}_{12}^{25}Mg) = 24,982587$	$m({}_{18}^{36}Ar) = 35,967545$
$m({}_1^3H) = 3,016046$	$m({}_7^{15}N) = 15,000108$	$m({}_{13}^{27}Al) = 26,981539$	$m({}_{18}^{38}Ar) = 37,962730$
$m({}_2^3He) = 3,016049$	$m({}_8^{16}O) = 15,990526$	$m({}_{14}^{28}Si) = 27,976927$	$m({}_{18}^{40}Ar) = 39,962383$
$m({}_2^4He) = 4,002603$	$m({}_8^{17}O) = 16,999133$	$m({}_{14}^{29}Si) = 28,976496$	$m({}_{19}^{39}K) = 38,963707$
$m({}_3^6Li) = 6,013479$	$m({}_8^{18}O) = 17,999161$	$m({}_{14}^{30}Si) = 29,973770$	$m({}_{19}^{40}K) = 39,964001$
$m({}_3^7Li) = 7,016004$	$m({}_9^{19}F) = 18,998404$	$m({}_{15}^{31}P) = 30,973763$	$m({}_{19}^{41}K) = 40,961826$
$m({}_6^{13}C) = 13,003355$	$m({}_{12}^{23}Mg) = 24,985838$	$m({}_{17}^{37}Cl) = 36,965904$	$m({}_{20}^{40}Ca) = 47,952534$
$m({}_4^9Be) = 9,012182$	$m({}_{10}^{20}Ne) = 19,992435$	$m({}_{18}^{32}S) = 31,972071$	$m({}_{20}^{42}Ca) = 39,962589$
$m({}_5^{10}B) = 10,012939$	$m({}_{10}^{21}Ne) = 20,993843$	$m({}_{16}^{33}S) = 32,971455$	$m({}_{20}^{43}Ca) = 41,958618$
$m({}_5^{11}B) = 10,012939$	$m({}_{10}^{22}Ne) = 21,991383$	$m({}_{16}^{34}S) = 33,967865$	$m({}_{20}^{44}Ca) = 42,958767$
$m({}_5^{12}B) = 11,009305$	$m({}_{11}^{23}Na) = 22,989767$	$m({}_{16}^{36}S) = 34,967079$	$m({}_{20}^{46}Ca) = 43,955479$
$m({}_6^{12}C) = 12,000000$	$m({}_{12}^{24}Mg) = 23,985043$	$m({}_{17}^{35}Cl) = 34,968853$	$m({}_{20}^{48}Ca) = 45,953690$
$m({}_6^{13}C) = 13,003355$	$m({}_{12}^{25}Mg) = 24,985838$	$m({}_{17}^{37}Cl) = 36,965904$	$m({}_{20}^{48}Ca) = 47,952534$

Yadroni tavsiflovchi modellar, tomchi modeli:

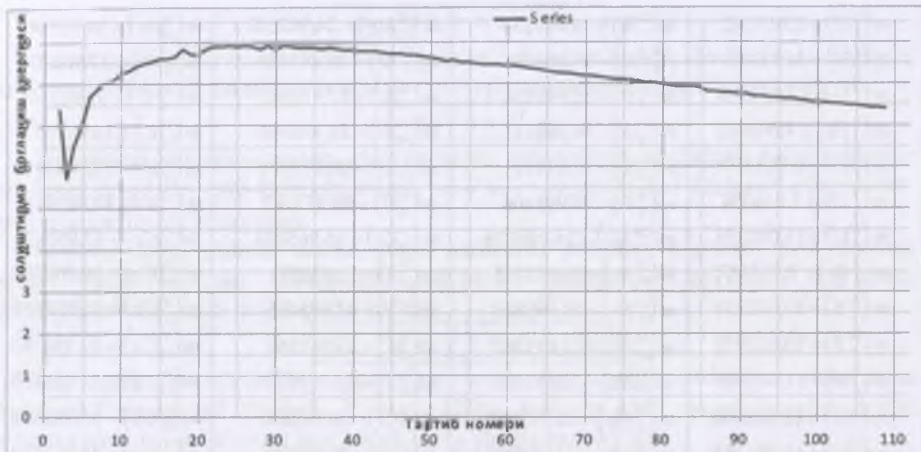
Yadroning solishtirma bog'lanish energiyasini aniqlashda massa defektidan foydalanish usulidan ham boshqa usullar borki, bu usullar yordamida nafaqat solishtirma bog'lanish energiyasini kattaroq aniqlikda aniqlash, balki yadroni yaxshiroq tushunish hamda yadro haqidagi tasavvurlarni kengaytirish imkoniyatlari ham bo'ladi. Real yadroni tushuntirish ancha mushkul bo'lgani uchun, matematik va fizik jihatdan birmuncha soddalashtirilgan turli yadro modellaridan foydalaniladi. Yadro modellari birinchi yaqinlashishda yadroning asosiy xususiyatlarini o'zida mujassam etgani bilan barcha xususiyatlarini ochib bera olmaydi. Yadroning biror xususiyatini bir model tushuntirib bera olsa, boshqa bir model esa tushuntirishga ojizlik qiladi. Shuning uchun ham hech bir yadro modelini eng asosiy model deb bo'lmaydi. Har bir yadro modelining aniqlik va qo'llanish chegaralari bor. Atom yadrolari haqidagi tasavvurlarni oshirishga xizmat qiladigan ba'zi yadro modellaridan misollar keltiramiz.

1) suyuq tomchi modeli; 2) qobiq yadro modeli; 3) alfa zarra modeli; 4) fermi-gaz modeli; 5) potensial o'ra modeli; 6) kollektiv model; 7) optik model va hokoz.

Yuqorida sanab o'tilgan yadro modellarining har biri nazariy jihatdan chuqur o'rganilgan bo'lib, ular haqida oliy ta'lim muassasalarida tanishish mumkin. Yadroning bog'lanish energiyasi hamda solishtirma bog'lanish energiyasini aniqlashda foydalaniladigan modellardan biri – suyuq tomchi modeli bilan yaqindan tanishaylik.

Eng dastlabki yadro modellaridan biri bo'lgan tomchi modeli Daniyalik olim Nils Bor tomonidan taklif qilingan. Unga ko'ra yadro moddasi suyuq tomchi shakliga qiyos qilinadi. Yadro sirti xuddi suyuqliklardagi kabi sirt taranglik kuchi ta'sirida sfera shaklida tutib turiladi hamda undagi nuklonlar sirt taranglik kuchi mavjudligi tufayli yadroni tark eta olmaydi. Yadroga tashqaridan biror zarra kelib tushganda yadro nuklonlarining qayta taqsimlanishi hisobiga erkin sirt potensial energiyasi ham o'zgaradi.

Yadroning suyuq tomchi modeli ustida empirik hisob kitoblarni keyinchalik nemis olimi K.F. Vayszkr davom ettirdi. 1935-yil Vayszkr yadroning bog'lanish energiyasini Z, N, A kattaliklar orqali topish formulasini tomchi modeli bo'yicha asoslab berdi hamda bu modelga asoslangan hisob-kitoblar natijasida quyidagi garfikka ega bo'ldi.



61.1-rasm

Yuqoridagi rasmdan ko'rinib turibdiki, atom massasi 45 – 90 oralig'ida bo'lgan yadrolarning solishtirma bog'lanish issiqligi grafikning eng yuqori qismiga to'g'ri keladi. Demak, ana shu yadrolarni parchalash eng qiyin kechar ekan. Boshqacha aytganda, yengil yadrolar og'irroq yadrolar hosil qilishda (atom massasi 45 – 90 bo'lgan yadrolarga yaqinlashib borishda) yoki juda og'ir yadrolar parchalanib atom massasi 45 – 90 bo'lgan yadrolar hosil qilganda ham energiya ajrashlishi sodir bo'ladi.



1. Yadro kuchlarining xususiyatlarini aytib bering.
2. Massa defekti nima? Uning formulasini yozing.
3. Bog'lanish energiyasi nima? Uning formulasini yozing.
4. Solishtirma bog'lanish energiyasi nima?
5. Yadroni tavsiflovchi qanday modellarni bilasiz?
6. Tomchi modelini kim taklif qilgan va kim tomonidan empirik hisob-kitoblar qilingan?



§ 62. YADRO REAKSIYALARI.

Yadro reaksiyalari, zanjir reaksiyasi:

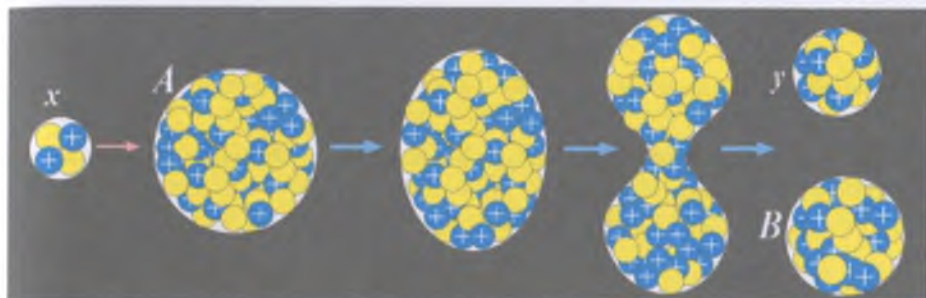
Ikki yadro yoki yadro va bir-biriga zarra 10^{-15} m masofagacha yaqin kelgandayadro kuchlari hisobiga bir-biri bilan o'zaro intensiv ta'sirlashib, yadro yoki zarralarning tarkibini o'zgarish protsessiga **yadro reaksiyalari** deyiladi. Yadro reaksiyalari vaqtida yadrolarning energiya va impulsleri qaytadan taqsimlanadi. Bu esa boshqa yadro yoki zarralarning hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

Yadro reaksiyalarini umumiy shaklda quyidagicha yozish mumkin (62.1-rasm):



Yadro reaksiyasida ishlatilayotgan boshlang'ich yadroni **nishon yadro**, shu reaksiyaning ro'y berishiga sababchi bo'lgan zarra yoki yadroni **esa snaryad zarra** yoki **snaryad zarra** yadro deyiladi.

Yadro reaksiyasida qatnashuvchi zarralarning energiyasiga qarab yadro reaksiyalari uch xil bo'ladi: 1) kichik energiyali yadro reaksiyalari; 2) o'rta energiyali yadro reaksiyalar; 3) yuqori energiyali yadro reaksiyalari.



62.1-rasm

Yadro reaksiyalari ularda ishtirok etuvchi zarralarning turiga qarab proton, deytון, α -zarra, γ -kvant, og'ir kimyoviy elementlarning ko'p zaryadli ionlari bilan ro'y beruvchi reaksiyalarga bo'linadi. γ -kvantlar ta'sirida ro'y beradigan yadro reaksiyalariga **fotoyadro reaksiyalari** deyiladi.

Yadro reaksiyalari vaqtida asosan 4 ta saqlanish qonunlari bajarilib, ular 1) zaryadning saqlanishi, 2) massaning saqlanish, 3) energiyaning saqlanishi hamda 4) impuls vektorining saqlanish qonunlaridir.

1) elektr zaryadining saqlanish qonuni: reaksiyaga kirayotgan yadro va zarralarning elektr zaryadlari yig'indisi reaksiyadan keyin hosil bo'lgan yadro va zarralarning elektr zaryadlari yig'indisiga teng bo'ladi.

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

2) Massa (nuklon) sonining saqlanish qonuni: reaksiyaga kirayotgan yadro va zarralarning umumiy massa (nuklonlar) soni undan so'ng hosil bo'layotgan yadro va zarralarning umumiy massa (nuklon) soniga teng bo'ladi.

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$

3) Energiyaning saqlanish qonuni: reaksiyaga kirishayotgan yadro va zarralarning energiyalari yig'indisi reaksiyadan keyin hosil bo'lgan yadro va zarralarning energiyalari yig'indisiga teng bo'ladi.

$$E_A + E_x = E_B + E_y$$

4) Impulsning saqlanish qonuni, uni quyidagicha ta'riflash mumkin: reaksiyaga kirishgunga qadar bo'lgan zarra va yadroning to'la impulsi reaksiyadan keyin hosil bo'lgan zarra va yadroning to'la impulsigacha teng bo'ladi.

$$\vec{P}_A + \vec{P}_x = \vec{P}_B + \vec{P}_y$$

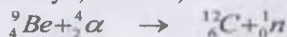
Yadro reaksiyalari paytida yuqorida sanab o'tilganlardan tashqari ham saqlanish qonunlari (izotopik spinning, barion zaryadining, lepton zaryadining, g'alatilikning, maftunkorlikning va boshqa saqlanish qonunlari) bajariladi. Lekin, ular haqida oliy o'quv yurtlarining fizika mutaxassislik yo'nalishlarida o'rganiladi.

Yadro va zarrachalarning reaksiyadan oldingi va keyingi energiyalari farqiga **yadro reaksiyasining energetik farqi** deyiladi. Yadro reaksiyalarini sun'iy ravishda o'tkazishdan asosiy maqsad ulardan energiya olishdir. Yadro reaksiyalariga oid dastlabki o'tkazilgan tajribalardan bir nechta misollar keltiraylik.

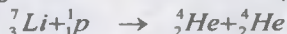
Yadro o'zgarishlari kuzatilgan birinchi tajriba (1919-yil, Rezerford):



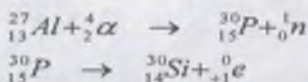
Neytronning kashf etilishi (1932-yil, Chedvik):



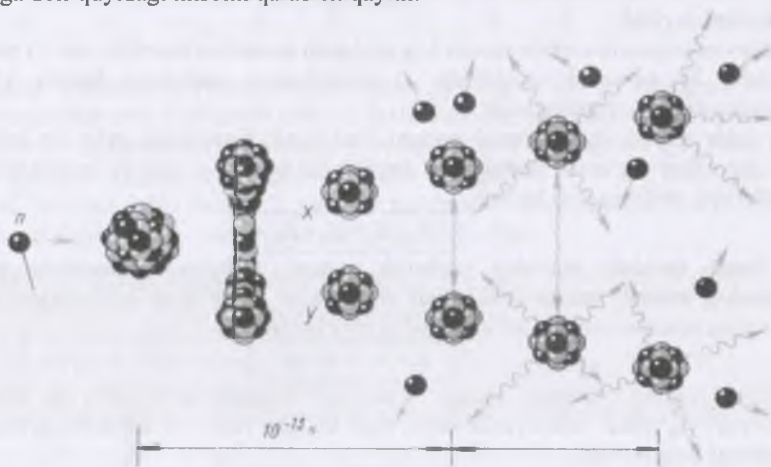
Tezlashtirilgan protonlarning birinchi marta ishlatilishi (1932-yil):



Sun'iy radioaktiv elementning birinchi bor olinishi va protonning topilishi (1932-yil, F.Julio-Kyuri):



Yadro reaksiyalarida energiya yutilishi yoki ajralishi mumkin. Energiya ajralishi bilan boradigan reaksiyalarga *ekzotermik reaksiyalar*, yutilishi bilan boradigan reaksiyalarga esa *endotermik reaksiyalar* deyiladi. Yadro reaksiyalarida energiya ajralishi bilan boradigan reaksiyalar, ya'ni ekzotermik reaksiyalar ko'proq uchraydi. Ekzotermik reaksiyaga doir quyidagi misolni qarab chiqaylik.



62.2-rasm

Misol:

Ushbu ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ yadro reaksiyasida qancha energiya ajralib chiqadi? Reaksiyaga kirishuvchi hamda reaksiya natijasida hosil bo'lgan yadro va zarralar massalarini jadvaldan oling.

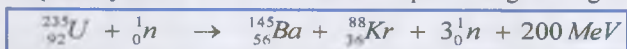
Yechish:

Masalani uchish uchun reaksiyaga kirishuvchi yadro va zarraning dastlabki massalar yig'indisi $m_1 = m({}^7_3\text{Li}) + m({}^1_1\text{H})$ bilan reaksiya natijasida hosil bo'lgan yadro va zarralar massalari yig'indisi $m_2 = m({}^4_2\text{He}) + m({}^4_2\text{He})$ orasidagi farq (massa defekti) topilishi zarur.

Unga ko'ra massalar farqi
 $\Delta m = m_1 - m_2 = (7,016004 + 2,014102) - (8,005307 + 1,008665) = 9,030106 - 9,013972 = 0,016134 \text{ m.a.b.}$
 ga teng bo'ladi. Massasi 1 m.a.b. bo'lgan zarraning tinchlikdagi energiyasi $E_0 = 932,9 \text{ MJ}$ ekanligini bilgan holda ajraladigan energiya
 $Q = \Delta m \cdot E_0 = 0,016134 \text{ m.a.b.} \cdot 932,9 \text{ MJ} = 15,51 \text{ MJ}$ bo'lishi kelib chiqadi.

Og'ir yadrolarning neytron yutish yo'li bilan ikki bo'lakka ajraladigan yadro reaksiyasiga **yadroning bo'linishi** deyiladi (62.2-rasm).

Yadroning bo'linish reaksiyasini 1939-yilda Gan, Shtrassman, Meytner birinchi marta uranning $^{235}_{92}\text{U}$ izotopini neytronlar bilan bombardimon qilib amalga oshirgan.



Reaksiya natijasida $^{145}_{56}\text{Ba}$, $^{88}_{36}\text{Kr}$ izotoplari, uchta neytrondan tashqari juda ko'p miqdorda issiqlik ajralib chiqdi. Bunda reaksiyada qatnashuvchi barcha nuklonlarning har biriga o'rtacha $\frac{200}{236} \approx 0,8475 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$ energiya to'g'ri keladi.

Reaksiya borish natijasida yana shunday ketma-ket reaksiyalar sodir bo'lsa, unga **zanjir reaksiya** deyiladi. Zanjir reaksiyasi nishon yadro bo'linishida ajralib chiqqan bir nechta neytron hisobiga sodir bo'ladi. Uchib chiqqan neytronlar o'z yo'lida keyingi yadrolarga urilib ularni parchalaydi va bu parchalanishda keyingi bosqich neytronlari ajralib chiqadi va hokoza. Zanjir reaksiyasida ko'payish geometrik progressiya bo'yicha sodir bo'ladi. Yadro parchalanishida uchib chiqqan neytron navbatdagi yadroni parchalamasdan jismdan tashqariga chiqib atrofqa tarqalib ketishi ham mumkin. Bunday hollarda reaksiya uzoq vaqt davom etmasdan darrov so'nadi. Reaksiya so'nmasligi uchun esa neytronlar tashqariga chiqib ketmasligi kerak. Buning uchun uran (radioaktiv element) massasining qiymati yetarlicha katta bo'lishi kerak. Zanjir reaksiyasi sodir bo'lishi uchun kerak bo'ladigan eng kichik massa **chegaraviy massa** yoki **kritik massa** deyiladi.

Uran yadrosi bo'linganda, bo'lish uchun ishlatilgan neytrondan tashqari ikkita yoki uchta neytron hosil bo'ladi. Bu neytronlar yangi yadrolarni bo'lishda ishtirok etadi. Bo'linishda neytronlar soni keskin ortadi. Reaksiya bardavom bo'lishi uchun bir sikldan keyingi siklga o'tganda uchib chiqqan neytronlar soni ko'payishi kerak. Keyingi sikldagi neytronlar sonining dastlabki sikldagi neytronlar soniga nisbatiga **ko'payish koeffitsiyenti** deyiladi. Ko'payish koeffitsiyentini xuddi matematikadagi geometrik progressiyaning maxrajiga o'xshatish mumkin. Agar reaksiyada $k=1$ bo'lsa, reaksiya doimiy, $k<1$ bo'lsa, reaksiya so'nuvchi, $k>1$ bo'lganda esa reaksiya ortib, portlash ro'y beradi. Ko'payish koeffitsiyenti $k \geq 1,01$ bo'lganda zanjir reaksiyasi boshlanib ketadi.

Har bir $^{235}_{92}\text{U}$ yadrosi parchalanganda 200MeV miqdorda energiya ajraladi. Taqqoslash uchun eng tez yonuvchi benzinni olaylik. Massasi 1kg bo'lgan benzin yonganda $Q_1 = 46\text{MJ}$ miqdordagi issiqlik ajraladi. 1kg uran $^{235}_{92}\text{U}$ parchalanganda esa $Q_2 = \frac{m}{M} N_A \cdot 200\text{MeV} = \frac{1}{0,235} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-11}\text{J} = 8,17 \cdot 10^{13}\text{J} = 8,17 \cdot 10^7\text{MJ}$ energiya, ya'ni

$\frac{Q_2}{Q_1} = 1,776 \cdot 10^6$ marta ko'p energiya ajraladi. Boshqacha aytganda, 1kg uran parchalanganda ajralgan energiya 1776 tonna benzin yonganda ajraladigan issiqlik bilan teng ekan. Benzin, kerosin, gaz, toshko'mir, yog'och, plastmassa va boshqa barcha uglevodorodlarning yonishi ximiyaviy reaksiya hisoblanib, bunda yadroviy reaksiyalaridagiga qaraganda million martalab kam energiya hosil bo'ladi.

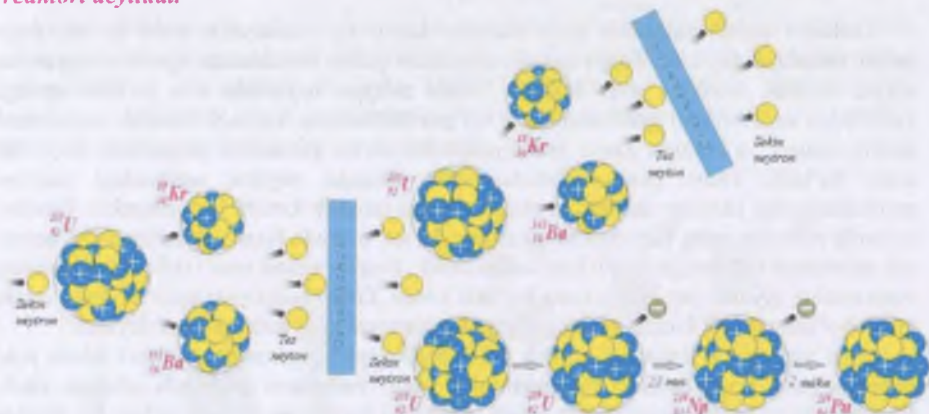
Shunday qilib, yadro bag'rida juda katta energiya yashirilib yotgani ayon bo'ldi. Bu energiyadan foydalanishni amalga oshirish galdagi dolzarb masala edi.

Yadro energiyasidan tinchlik maqsadida foydalanish:

61.1-rasmdan ko'rinib turibdiki, atom massasi 45 – 90 oralig'ida bo'lgan yadrolarning solishtirma bog'lanish issiqligi grafikning eng yuqori qismiga to'g'ri keladi. Demak, og'ir

yadrolarga qaraganda yengilroq yadrolarning solishtirma bog'lanish issiqligi kattaroq ekan. Shunga asosan, og'ir yadro parchalanib, yengilroq yadro hosil bo'lganda energiya ajralishi kerak degan fikr paydo bo'ladi. Haqiqatan ham uran $^{235}_{92}\text{U}$ yadrosi yengilroq $^{145}_{36}\text{Ba}$ va $^{88}_{36}\text{Kr}$ yadrolariga parchalanganda 200 MeV miqdorda energiya ajralishi bilan tanishdik. Zanjir reaksiyasi juda tez sur'atda, shiddat bilan sodir bo'ladi. Shuning uchun ham odatda bu reaksiya portlash bilan yuz beradi. Yadro energiyasidan foydalanish uchun yadroviy zanjir reaksiyasini boshqarish kerak bo'ladi.

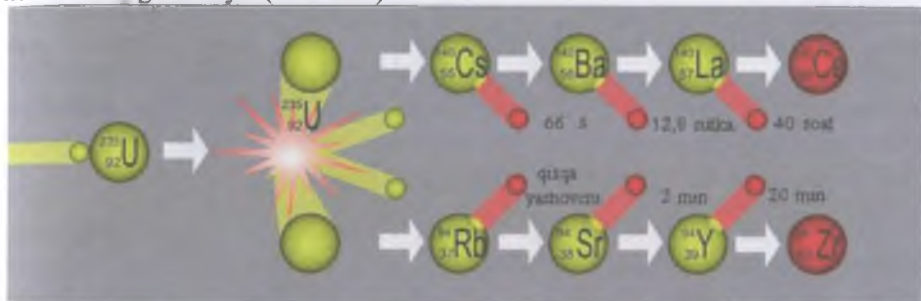
Yadroning bo'linishi boshqariladigan reaksiyani amalga oshiruvchi qurilmaga yadro reaktori deyiladi.



62.3-rasm

Tabiiy uran odatda 2ta izotopdan, ya'ni $^{235}_{92}\text{U}$ va $^{238}_{92}\text{U}$ izotoplaridan iborat bo'lib, umumiy massaning 1/140 qismini $^{235}_{92}\text{U}$ izotop tashkil etadi. $^{235}_{92}\text{U}$ izotopi energetik jihatdan juda foydali bo'lib, u tez neytronlar ta'sirida ham, sekin neytronlar ta'sirida ham parchalanishi mumkin, ayniqsa sust neytronlarni yaxshi yutadi. $^{238}_{92}\text{U}$ izotop esa faqat energiyasi 1MeV dan katta bo'lgan o'ta tez neytronlar ta'siridagina parchalanadi. Bo'linishda paydo bo'ladigan ajmi neytronlarning taxminan 60% qismi shunday energiyadan katta energiyaga ega bo'ladi. Lekin, har beshta neytrondan bittasigina $^{235}_{92}\text{U}$ izotopni parchalashi mumkin, qolganlari esa bu izotopga yutiladi. Shuning uchun, sof $^{238}_{92}\text{U}$ izotopidan iborat uran bilan zanjir reaksiyasi davom etmaydi. Boshqariladigan zanjir reaksiyasi sodir bo'lishi uchun yoki sof $^{235}_{92}\text{U}$ izotopini ajratib olish (uranni boyitish) kerak yoki aralashma tarkibida aralashma ruda tarkibida $^{235}_{92}\text{U}$ izotopi ham ma'lum miqdordan kam bo'lmashligi kerak bo'ladi. Sust neytronlarning yutilish ehtimoli tez neytronlarning yutilish ehtimolidan 10^6 marta katta. Shuning uchun ham tabiiy uranda ishlaydigan yadro reaktorlarida ko'payish koeffitsiyentini orttirish uchun neytronlarni sekinlatgichlardan foydalaniladi. Tabiiy uranda ishlaydigan yadro reaktorlarida kechadigan jarayonlar 62.3-rasmda tasvirlangan. $^{238}_{92}\text{U}$ izotopi o'ziga neytronni yutib $^{239}_{92}\text{U}$ izotopiga aylanadi, oradan 23min vaqt o'tgach esa elektronli β^- -yemiriladi va $^{239}_{93}\text{Np}$ izotopiga aylanadi. Oradan 2 sutka vaqt o'tgach, yana elektronli β^- -yemiriladi va $^{239}_{94}\text{Pu}$ izotopiga aylanadi.

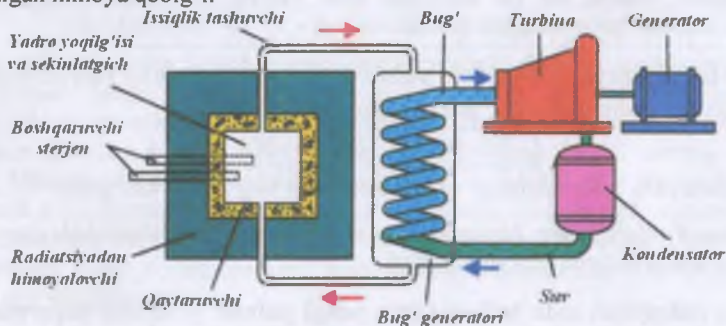
$^{235}_{92}\text{U}$ izotopi parchalari $^{145}_{36}\text{Ba}$ va $^{88}_{36}\text{Kr}$ izotoplari ham turg'un bo'lmagan, ular ham yarim yemirilishlarga uchraydi. O'z navbatida $^{145}_{36}\text{Ba}$ va $^{88}_{36}\text{Kr}$ izotoplari ham yemirilishlar ketma-ketligiga uchraydi (62.4-rasm).



62.4-rasm

Quyidagi rasmda yadro reaktorining sxemasi keltirilgan. Yadro reaktorining asosiy elementlari quyidagilardir (62.5-rasm):

- 1) Yadro yoqilg'isi $^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{92}\text{Pu}$ izotoplari – asosiy energiya manbaidir;
- 2) neytronlarni sekinlatgich – oddiy yoki og'ir suv, grafit va hokoza;
- 3) issiqlik eltuvchi vosita – suv, suyuq natriy va hokoza;
- 4) neytronlarni yutib, reaksiya tezligini rostlovchi jismlar – bor, kadmiydan tayyorlanib, reaktorning ish fazasiga kiritiladigan sterjenlar;
- 5) neytronlarni va γ -nurlarni ushlab qoluvchi, reaktorni o'rab turuvchi temirbetondan yasalgan himoya qobig'i.



62.5-rasm

Og'ir suv eng yaxshi sekinlatgich bo'lib, neytronni tutib qolishi natijasida og'ir vodorodga aylanadi. Grafit ham neytronlarni yutmasada, lekin sekinlatgich vazifasini o'taydi.

Bo'linayotgan moddaning yadroviy zanjir reaksiya sodir bo'ladigan eng kichik massasiga **kritik massa** deyiladi. Agar yadro yoqilg'isi massasi kritik massadan kam bo'lsa, neytronlar yadroga yetib ulgurmasdan tashqariga uchib chiqib ketadi. Natijada, ko'payish sodir bo'lmaydi. Masalan, shar shaklida sof $^{235}_{92}\text{U}$ uchun kritik massa 50kg atrofida bo'ladi.

Reaktor kadmiy yoki bordan yasalgan sterjenlar yordamida boshqariladi. Sterjenlar reaktorning aktiv zonasidan chiqarilganda $k > 1$, aktiv zonaga to'la kiritilganda esa $k < 1$ bo'ladi. Hozirgi zamonaviy yadro reaktorlari masofadan turib boshqariladi.

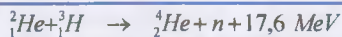
Yuqorida ko'rgan yadro reaktori sekin neytronlarda ishlaydigan yadro reaktoridir. Tez neytronlarda ishlaydigan yadro reaktori tabiiy uranda ishlay olmaydi. Chunki, uran yadrolarining tez neytronlarda bo'linish ehtimoli kam. Shuning uchun, tabiiy uranni 15% dan kam bo'lmagan tarkibda $^{235}_{92}\text{U}$ ga boyitish lozim bo'ladi. Tez neytronlarda ishlaydigan yadro reaktorlarining avzalliklaridan biri bunda ko'p miqdorda plutoni $^{239}_{94}\text{Pu}$ izotopi hosil bo'lib, bu keyingi bosqichdagi yadro yoqilg'isi sifatida ishlatiladi.

Termoyadro reaksiyalari:

61.1-rasmdan ko'rinib turibdiki, atom massasi 45 – 90 oralig'ida bo'lgan yadrolarning solishtirma bog'lanish issiqligi grafikning eng yuqori qismiga to'g'ri keladi. Demak, yengil yadrolarga qaraganda og'irroq yadrolarning solishtirma bog'lanish issiqligi kattaroq. Shuning uchun yengil yadrolar birikib, og'irroq yadro hosil bo'lganda energiya ajralishi kerak degan fikr paydo bo'ladi.

Yuqori temperaturalarda (10^7 — 10^9K) yengil yadrolarning birikib, og'ir yadro hosil qilishiga termoyadro reaksiyasi deyiladi.

Bu reaksiyada deuteriy yadrosi bilan tritiy yadrosi birikib, geliy yadrosi hosil qilinadi va $17,6\text{MeV}$ energiya ajralib chiqadi.



Bu reaksiyada bitta nuklonga to'g'ri keladigan bog'lanish energiyasi $\frac{17,6}{5} = 3,46 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$ kelib chiqadi. Bunda har bir nuklonga uran yadrosi parchalanishidagiga qaraganda $\frac{3,46}{0,8475} \approx 4,1$ marta ko'proq energiya ajraladi.

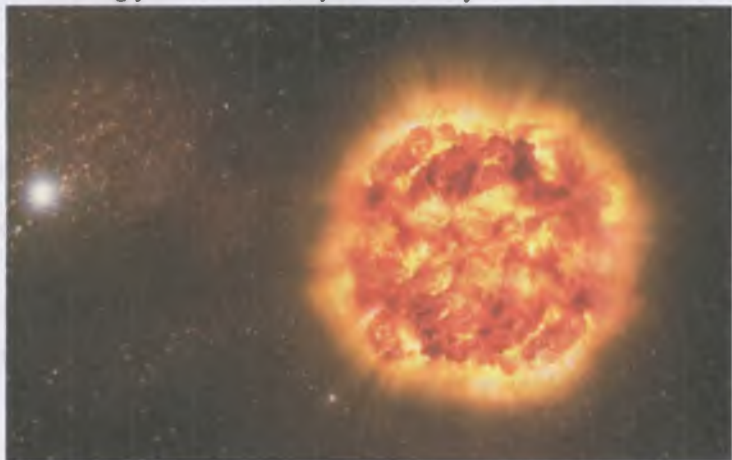
Undan tashqari deuteriy bilan ^3_2He yadrosi birikganida ham geliy yadrosi hosil bo'lishi va bu reaksiyada ham juda katta $18,3\text{MeV}$ energiya ajraladi.



Bu reaksiyada bitta nuklonga to'g'ri keladigan bog'lanish energiyasi $\frac{18,3}{5} = 3,66 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$ kelib chiqadi. Bunda har bir nuklonga uran yadrosi parchalanishidagiga qaraganda $\frac{3,46}{0,8475} \approx 4,32$ marta ko'proq energiya ajraladi.

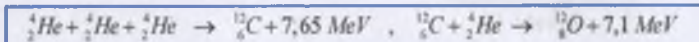
Yadro reaksiyalari sodir bo'lishi uchun yengil yadrolar yetarlicha yaqin masofagacha yaqinlashishlari zarur, ya'ni Kulon kuchiga qarshi ish bajarish kerak bo'ladi. Buning uchun yengil yadrolar bir-biri bilan yetarlicha katta tezlik bilan to'qnashishlari kerak bo'ladi. Bunday katta tezlikka esa juda ulkan temperaturalarda erishish mumkin. Shuning uchun ham bu reaksiyalarni termoyadro (issiqlik yadrosi) reaksiyalari deb ataladi. Bunday sharoit esa faqat Quyosh va yulduzlar bag'ridagina mavjuddir. Quyosh va yulduzlarning har birida ularning markazlarida termoyadro reaksiyalari sodir bo'ladi. Masalan, Quyosh markazida temperatura 13 mln. gradusga yetadi. Bunday sharoitda vodorod atomlari to'la ionlangan, ya'ni yalang'och yadrolar ko'rinishida bo'ladi. Ularning birikishi natijasida dastlab deuteriy, tritiy yadrolari, so'ngra esa geliy yadrolari hosil bo'ladi. Bu reaksiyada ulkan energiya ajralishi hisobiga ular qizib nur sochadi ($62,6\text{-rasm}$). Termoyadro reaksiya paytida ajralgan energiya hisobiga milliard yillardan buyon yulduzlar nur sochib turadi. Unda yengil yadrolar birikib navbatdagi og'ir yadrolar hosil bo'ladi.

Quyoshning tarkibida 70 % vodorod, 29% geliy va 1% og'ir neytronlar bo'lib uning umumiy massasi taxminan $2 \cdot 10^{30}$ kg ga teng. Quyosh xuddi hozirgidek har sekunda atrofga $4 \cdot 10^{26}$ J energiya sohib tursa, u yana 100 mld.yil nur sohib turadi.



62.6-rasm

Yulduzlar bag'rida boshqa sintez reaksiyalari ham bo'lishi mumkin. Buning uchun ularning bag'ri juda issiq bo'lishi lozim. Agar yulduzlar bag'rida 100 mln.gradusdan oshsa, navbatdagi termoyadro reaksiyalari boshlanadi va navbatdagi bosqich energiyasi ajraladi.



Vodorod bombasining ishlash prinsipi ham termoyadro reaksiyasiga asoslangan. Unda atom bombasi ichiga vodorod gazi qamalgan bo'ladi. Atom bombasi portlaganda ajralgan ulkan energiya hisobiga temperatura ulkan qiymatlargacha oshadi. Bu temperatura esa termoyadro reaksiyasi boshlanishi uchun yetarli bo'ladi. Natijada, ikkinchi bosqich reaksiya – termoyadro reaksiyasi boshlanadi. Vodorod bombasi portlaganda atom bombasidagiga qaraganda 5–7 marta katta issiqlik ajraladi. Shunisi ahamiyatli, atom bombasi ishga tushishi uchun undagi uran massasi kritik massadan yuqori bo'lish kerak bo'lsa, vodorod bombasida esa termoyadro reaksiyasi ixtiyoriy massada ro'y berishi mumkin.



1. Yadro reaksiyasi deb nimaga aytiladi? Dastlabki yadro reaksiyalariga misolar keltiring.
2. Zanjir reaksiyasi deb nimaga aytiladi? Bunda qanday tartibdagi energiya ajraladi?
3. Yadro reaksiyasidan tinchlik maqsadida foydalanish haqida so'zlab bering. Yadro reaktori nima va uni tuzilishi qanday?
4. Termoyadro reaksiyasi deb nimaga aytiladi? Termoyadro reaksiyasiga misollar keltiring.
5. Termoyadro va zanjir reaksiyasida ajralgan energiyalarning bir nuklonga to'g'ri kelgan hissi qanday tartibda bo'ladi?



XII BOBGA DOIR MISOLLAR YECHISH

1. Radioaktiv yadro ikkita β -zarracha chiqargach yadrodagi neytronlar soni ...

- A) 4 taga ortadi B) 2 taga ortadi C) 2 taga kamayadi.
D) o'zgarmayd. E) 4 taga kamayadi

Berilgan: Yechish:

Yadrodan β^- yemirilishi uchun undagi 1 neytron 1 ta proton va 1 elektrona aylanadi. Demak 2 ta elektroni yemirilganda yadrodagi neytronlar soni 2 ga kamayadi.

Javob: C)

2. Qanday radioaktiv yemirilish natijasida natriy ${}_{11}\text{Na}_{22}$ magniy ${}_{12}\text{Mg}^{22}$ ga aylanadi?

- A) γ B) α C) β D) α va γ E) α va β

Berilgan: Yechish:

Radioaktiv siljish qonuniga ko'ra ${}_{11}^{22}\text{Na} = {}_{12}^{22}\text{Mg} + {}_{-1}^0\beta$ demak hosil bo'lgan zarra elektron ekan

Javob: C)

3. ${}_{92}\text{U}^{239} = {}_{93}\text{Np}^{237} + X$ yadro parchalanishining noma'lum mahsuli nima?

- A) α -zarra B) neytron C) elektron D) pozitron E) proton

Berilgan: Yechish:

Radioaktiv siljish qonuniga ko'ra ${}_{92}^{237}\text{U} = {}_{93}^{237}\text{Np} + {}_{-1}^0X$ demak zaryadi $-e$ ga massa soni 0 ga teng bo'lgan zarra elektron hosil bo'ladi.

Javob: C)

4. Uchta α va ikkita β -yemirilishdan so'ng uranning ${}_{92}\text{U}^{238}$ izotopi qaysi elementga aylanadi?

- A) ${}_{86}\text{Rn}^{228}$ B) ${}_{87}\text{Fr}^{223}$ C) ${}_{84}\text{Po}^{209}$ D) ${}_{92}\text{U}^{239}$ E) ${}_{88}\text{Ra}^{226}$

Berilgan: Yechish:

Radioaktiv siljish qonuniga ko'ra ${}_{92}^{238}\text{U} = 3 \cdot {}_{2}^4\alpha + 2 \cdot {}_{-1}^0\beta = {}_{88}^{226}\text{Ra}$. Demak, ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ ga aylanadi.

Javob: E)

$Y = ?$

5. Massasi 0,1 mg bo'lgan poloniyning radioaktiv yemirilishida sanagich $3 \cdot 10^{17}$ ta α -zarra chiqqanligini qayd etdi. Bunda poloniyning massasi 2% kamaydi. Geliy atomi (α -zarra) massasini toping (g).

- A) $1,67 \cdot 10^{-24}$ B) $3,3 \cdot 10^{-24}$ C) $10,8 \cdot 10^{-24}$ D) $8,3 \cdot 10^{-24}$ E) $6,7 \cdot 10^{-24}$

Berilgan: Yechish:

$$k = 3 \cdot 10^{17} \text{ ta};$$

$$M = 0,1 \text{ g};$$

$$m = 0,02M;$$

$$m = ?$$

Demak, berilgan shartga ko'ra $m = 0,02M = km_{\alpha}$ bundan $m_{\alpha} = \frac{0,02M}{k} = 6,7 \cdot 10^{-24} \text{ kg}$ kelib chiqadi.

Javob: E)

6. Elementning yarim yemirilish davri 70 kun. 35 kundan so'ng radioaktiv yadrolarning necha foizi qoladi?

- A) 75 B) 50 C) 70 D) 30 E) 60

Berilgan: Yechish:

$$T; = 70 \text{ kun}$$

$$t = 35 \text{ kun}$$

$$\frac{N}{N_0} = ?$$

Radioaktiv moddalarning yemirilish qonuniga ko'ra $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$ bunda N_0 — moddadagi dastlabki atomlar soni;

$N - t$ vaqtidan keyin yemirilmay qolgan atomlar soni; T — yarim yemirilish davri. Radioaktiv moddalarning yemirilish qonunidan $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}} =$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7 \text{ demak } 70\% \text{ i qoladi.}$$

Javob: C)

7. Aluminiy ${}_{27}^{27}\text{Al}$ yadrosining bog'lanish energiyasi ifodasini ko'rsating (m_p -proton massasi, m_n - neytron massasi, M_{ya} -yadro massasi).

- A) $M_{ya}c^2$ B) $(13m_p - 14m_n - M_{ya})c^2$ C) $(27m_p + 13m_n - M_{ya})c^2$
D) $(27m_p + 13m_n - M_{ya})c^2$ E) $(13m_p + 14m_n - M_{ya})c^2$

Berilgan:

${}_{27}^{27}\text{Al}$

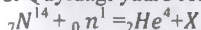
$E = ?$

Yechish:

Berilgan yadro ${}_{13}^{27}\text{Al}$ alyuminiy yadrosi, bunda $Z = 13$, ta $N = A - Z = 14$ ta. Demak alyuminiy yadrosiga mos keluvchi massa deffekti $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M$. Massa deffektiga mos keluvchi energiya esa $E = \Delta mc^2 = (13m_p + 14m_n - M)c^2$ ga teng.

Javob: E)

8. Quyidagi yadro reaksiyada hosil bo'ladigan elementni aniqlang:



- A) ${}_2^4\text{He}$ B) ${}_5^9\text{B}$ C) ${}_8^{16}\text{O}$ D) ${}_5^{11}\text{B}$ E) ${}_6^{12}\text{C}$

Berilgan:

Yechish:

Radiativ siljish qonuniga ko'ra ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_0^1\text{n} = X + {}_2^4\text{He}$. Demak ${}_{15}^{11}\text{B} = {}_{15}^{11}\text{X}$ bu zarra ${}_{15}^{11}\text{B}$ ekan.

Javob: E)



XII BOBGA DOIR TESTLAR

1. 99/2-52. Uch xil nurlanishlar (α , β , γ) dan qaysi biri eng katta kiruvchanlik qobiliyatiga ega?

- A) γ -nurlanish B) β -nurlanish C) α -nurlanish.
D) hammasi taqriban bir xil E) TJY

2. 97/8-67. Quyidagi ifodalarning qaysilari radioaktiv siljish qonunini tavsiflaydi:

- 1) ${}_Z^MX = {}_{Z-2}^{M-4}Y + {}_2^4\text{He}$
2) ${}_Z^MX = {}_{Z+1}^MY + {}_{-1}^0e$
3) ${}_Z^MX + {}_2^4\text{He} = {}_{Z+2}^{M+4}\text{C} + {}_0^1\text{n}$
4) ${}_Z^MX + {}_0^1\text{n} = {}_{Z+1}^{M+1}\text{Na} + {}_2^4\text{He}$
A) 1, 2 B) 1, 3 S) 1, 4 D) 2, 3 E) 2, 4

3. Nuqtalar o'rniga mos keladigan iborani aniqlang. Bitta β -emirilish natijasida element davriy sistemaning... siljiydi.

- A) boshiga qarab uch katakka B) boshiga qarab bir katakka
C) oxiriga qarab ikki katakka D) oxiriga qarab bir katakka
E) boshiga qarab ikki katakka

4. Mendeleev jadvalidagi tartib nomeri Z bo'lgan element yadrosining α -emirilishi natijasida hosil bo'ladigan elementning tartib nomeri qanday?

- A) $Z-1$ B) $Z-2$ C) Z D) $Z+2$ E) $Z+1$

5. Qanday radioaktiv yemirilish natijasida toriy ${}_{90}^{232}\text{Th}$ radiy ${}_{88}^{228}\text{Ra}$ ga aylanadi?

- A) α B) β C) proton bilan nurlantirilganda.
D) γ E) neytron bilan nurlantirilganda.

6. 1 marta α va 3 marta β yemirilishdan so'ng elementning tartib raqami qanday o'zgaradi?

- A) 2 ga oshadi B) 2 ga kamayadi. C) 1 ga oshadi.
D) 3 ga oshadi E) 3 ga kamayadi.

7. Ketma-ket uchta β -yemirilishdan so'ng ${}_{81}^{210}\text{Tl}$ (talliy izotopi) nimaga aylanadi?

A) ${}_{94}\text{Po}^{210}$ B) ${}_{84}\text{Po}^{207}$ C) ${}_{78}\text{Pt}^{210}$ D) ${}_{78}\text{Pt}^{207}$ E) ${}_{78}\text{Pt}^{213}$

8. Radon izotopining yarim yemirilish davri 3,82 sutkaga teng. 1,91 sutkadan so'ng bu izotopdagi atomlar soni necha marta kamayadi?

A) 1,6 B) 1,2 C) 1,1 D) 1,41 E) 1,5

9. Radiya $25 \cdot 10^6$ ta atom bor. Agar radiyning yarim yemirilish davri 1620 yil bo'lsa, 1 sutkada qancha atom yemiriladi?

A) 2 B) 29 C) 47 D) 93 E) TJJY

10. Sutkaning boshlang'ich 8 soatida radioaktiv moddaning aktivligi 3 marta kamaydi. Sutka davomida modda aktivligi necha marta kamayadi?

A) 8 B) 9 C) 12 D) 24 E) 27

11. Agar radioaktiv elementning aktivligi 160 sutkada 16 marta kamaygan bo'lsa, uning yarim emirilish davri necha sutkaga teng?

A) 80 B) 40 C) 20 D) 16 E) 10

12. Tinchlikdagi massalari m_0 dan bo'lgan ikki zarra birlashganda E energiya ajraldi. Hosil bo'lgan zarraning tinchlikdagi massasi qanday?

A) $2m_0 + \frac{E}{c^2}$ B) $2m_0 c^2 + \frac{E}{c^2}$ C) $2m_0 - \frac{E}{c^2}$ D) $2m_0 \cdot E c^2$ E) $2m_0 c^2 + E$

13. Zaryadi 2 proton zaryadiga teng ionda 8 ta elektron va 12 ta neytron bo'lsa, uning yadrosida nechta zarra bor?

A) 20 B) 24 C) 22 D) 18 E) 16

14. Atom yadrosida 9 ta proton va 11 ta neytron bo'lsa, shu neytral atomning elektron qobig'ida nechta elektron bor?

A) 2 B) 9 C) 11 D) 20 E) 0

15. Molyar massasi 235 g/mol bo'lgan elementning Mendeleev davriy sistemasidagi tartib raqami 92 bo'lsa, element atomi yadrosidagi neytronlar soni qanday?

A) 143 B) 235 C) 327 D) 92 E) 238

16. Quyidagi yadro reaksiyasidagi noma'lum zarracha nima: ${}_3\text{He}^7 + {}_1\text{He}^1 = {}_4\text{He}^7 + X$

A) gamma kvant. B) elektron C) neytron. D) pozitron E) proton

17. Texnetsiyni sun'iy usulda olishda qanday zarra hosil bo'ladi: ${}_{42}\text{Mo}^{94} + {}_1\text{H}^1 = {}_{43}\text{Tc}^{95} + ?$

A) elektron. B) proton. C) foton. D) pozitron. E) neytron.

18. Quyidagi yadrovii reaksiyadagi noma'lum zarrani aniqlang: ${}_9\text{F}^{19} + {}_1\text{p}^1 = {}_8\text{O}^{16} + ?$

A) elektron B) ${}_8\text{O}^{16}$ C) proton. D) neytron. E) ${}_2\text{He}^4$

19. Ushbu moddalarning qaysi biri yadro reaktorlarida issiqlik tashuvchi modda sifatida ishlatiladi:

1) uran; 2) grafit; 3) kadmiy; 4) oddiy suv; 5) plutoni; 6) suyuq natriy.

A) 1 B) 2 C) 3 va 4 D) 2 va 5 E) 4 va 6

20. Quyida sanalgan moddalardan aaysilari yadro reaktorlarida neytronlarni yutuvchi moddalar sifatida ishlatiladi:

1) uran; 2) grafit; 3) kadmiy; 4) og'ir suv; 5) bor; 6) plutoni;

A) 2, 4 B) 3, 5 C) 2, 3 D) 3, 4 E) 1, 6

21. Quyida sanalgan moddalardan qaysilari yadro reaktorlarida yadro yoqilg'i sifatida ishlatiladi:
 1) uran; 2) grafit; 3) kadmij; 4) og'ir suv; 5) bor; 6) plutoniy?
 A) 1 va 5 B) 1 va 2 C) 1 va 3 D) 1 va 6 E) 1 va 4
22. ${}_3\text{Li}^6 + n = {}_2\text{He}^4 + X$ yadro reaksiyasining ikkinchi mahsuli nima?
 A) pozitron B) β -zarra C) proton D) deytron E) triton



XII BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

- Serpuxovodagi yuqori energiyalar fizikasi institutidagi tezlatgichda protonlar $W = 76 \text{ GeV}$ bo'lgan elektronlar olsa, ularning massasi necha marta ortadi? Protonning tinchlikdagi energiyasi $E_0 = 938 \text{ MeV}$.
- Erevan fizika institutidagi tezlatgichda energiyasi $W = 6 \text{ GeV}$ bo'lgan elektronlar olish mumkin. Bunday elektronlarning massasi qanday va ularning massasi tinchlikdagi massasidan necha marta katta? Elektronning tinchlikdagi energiyasi $E_0 = 0,511 \text{ MeV}$, massasi esa $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.
- Agar bir oydan so'ng radioaktiv moddaning 75% qolsa, shu modda yadrolarining yarim yemirilish davri necha kun? (1 kun - 24 soat.)
- ${}_{53}\text{J}^{131}$ yod izotopi yadrolarining yarim yemirilish davri 8 sutka. Agar dastlabki radioaktiv yadrolar soni 10^9 ta bo'lsa, 80 sutkadan keyin bu izotopning nechta radioaktiv yadrosi qoladi?
- Yod-131 izotopining yarim yemirilishi $T = 8 \text{ sutka}$. Bu izotopning o'rtacha yashash davri τ qanday?
- Radioaktiv kobalt ${}_{27}^{60}\text{Co}$ ning o'rtacha yashash vaqti $\tau = 7,35 \text{ yil}$. Uning yarim yemirilish davri T qanday?
- Radioaktiv elementning aktivligi $t = 8$ sutkada $n = 4$ marta kamaydi. Yarim yemirilish davri T qanday?
- Uran ${}_{92}^{238}\text{U}$ uchun α -yemirilish va qo'rg'oshin ${}_{82}^{209}\text{Pb}$ uchun β -yemirilish reaksiyasini yozing.
- Radioaktiv manganets ${}_{25}^{54}\text{Mn}$ ikki usul bilan olinadi. Birinchi usulda temir izotopi ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ deytron ${}_1^2\text{H}$ lar bilan. Ikkinchi usulda temir izotopi ${}_{26}^{54}\text{Fe}$ neytronlar bilan nurlantirilib olinadi. Shu yadroviy reaksiyalarni yozing.
- Eynshteyniy elementi ${}_{99}^{253}\text{Es}$ α -zarralar bilan nurlantirilganda neytron ajralgan va mendeleviy elementi hosil bo'lgan. Shu reaksiyani yozing.
- Bor izotopi ${}_{5}^{10}\text{B}$ neytronlar bilan bombordimon qilinganda hosil bo'ladigan yadrodan α -zarra otilib chiqadi. Shu reaksiyani yozing.
- Bor ${}_{5}^{11}\text{B}$ α -zarralar bilan bombordimon qilinganda neytron urib chiqariladigan yadroviy reaksiyani yozing.
- Alyuminiy ${}_{13}^{27}\text{Al}$ ni α -zarralar bilan bombordimon qilishda sodir bo'ladigan reaksiyani yozing.

14. Uran $^{235}_{92}\text{U}$ ning yadrosi bita neytron yutib, ikki bo'lakka ajraldi. Bunda ikki neytron bo'shadi. Bo'laklardan biri ksenon $^{140}_{54}\text{Xe}$ yadrosi ekanligi ma'lum bo'ldi. Ikkinchi bo'lak qanday yadrodan iborat?
15. Tritiy ^3_1H izotopining, litiy ^7_3Li izotopining massalar defektini toping. ^3_1H , ^7_3Li , ^1_0n izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda 3,016046, 7,016004, 1,007825 va 1,008665 m.a.b. ga teng. 1 m.a.b. = $1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg.
16. Deytron ^2_1H , geliy ^4_2He yadrosi va kalsiy $^{40}_{20}\text{Ca}$ yadrosining bog'lanish energiyasini toping. ^1_1H , ^2_1H , ^4_2He va $^{40}_{20}\text{Ca}$ izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda 1,007825, 2,014102, 4,002603, 39,962589 va 1,008665 m.a.b. ga teng.
17. Quyidagi yadroviy reaksiyalarda energiya ajraladimi yoki yutiladimi: 1) $^6_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^3_1\text{H}$; 2) $^7_3\text{Li} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n}$? ^6_3Li , ^1_1H , ^4_2He , ^7_3Li , $^{10}_5\text{B}$ izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda 6,015125, 1,007825, 4,002603, 7,016004, 10,012939 va 1,008665 m.a.b. ga teng.
18. $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ^1_1\text{H}$ yadroviy reaksiyada ajraladigan energiyani hisoblang. $^{14}_7\text{N}$, ^4_2He , $^{17}_8\text{O}$ va ^1_1H izotoplarning massalari mos ravishda 14,003074, 4,002603, 16,999133 va 1,007825 m.a.b. ga teng.
19. $^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^7_3\text{Li} + ^4_2\text{He}$ yadroviy reaksiyada ajralib chiqadigan energiyani aniqlang. $^{10}_5\text{B}$, ^7_3Li , ^4_2He izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda 10,012939, 7,016004, 4,002603 va 1,008665 m.a.b. ga teng.
20. $^6_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow 2\ ^4_2\text{He}$ yadroviy reaksiyada chiqadigan energiyani aniqlang. ^6_3Li , ^2_1H , va ^4_2He izotoplarining massalari mos ravishda 6,015125, 2,014102 va 4,002603 m.a.b. ga teng. J:
21. $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$ termoyadroviy reaksiyada qancha energiya ajraladi? ^2_1H , ^3_1H , ^4_2He izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda 2,014102, 3,016046, 4,002603 va 1,008665 m.a.b. ga teng.
22. Alyuminiy $^{27}_{13}\text{Al}$ yadrosining bog'lanish energiyasini toping. $^{27}_{13}\text{Al}$ atomining massasi $M = 26,981539$ m.a.b., proton, neytron va elektronlarning massalari: $m_p = 1,007276$ m.a.b., $m_n = 1,008665$ m.a.b. va $m_e = 0,000549$ m.a.b.
23. Litiy ^7_3Li va $^{16}_8\text{O}$ yadrolarining solishtirma bog'lanish energiyalarini toping. Bu yadrolarning, protonning va neytronning massalari mos ravishda 7,014358, 15,990526, 1,007276 va 1,008665 m.a.b. ga teng.



Biz elektron, proton, neytron, foton va pozitron kabi zarralar haqida ma'lumotga ega bo'ldik. Bir paytlar "bo'linmas" deb atalgan "Demokrit atom"lari aslida murakkab ichki tuzilishga ega ekanligi ma'lum bo'ldi. Olamda bo'layotgan barcha modda o'zgarishlari atomlardagi oddiy o'rin almashishlardan iborat ekan. Biroq XX asrning 2-yarmida kosmik nurlarda o'tkazilgan tadqiqotlar natijasi elementar zarralarning nihoyatda xilma-xil ekanligini ko'rsatdi. Shunday qilib fanda yangi soha – elementar zarralar fizikasi bo'nalishi paydo bo'ldi va gurkirab rivojlana boshladi.

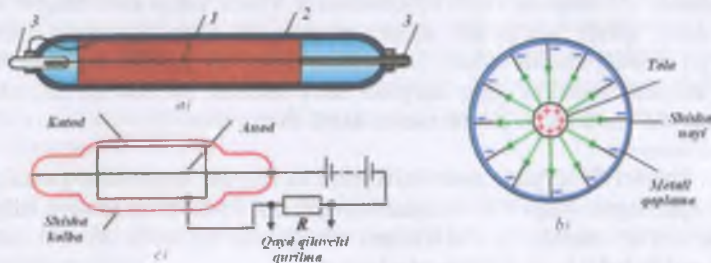


§ 65. ELEMENTAR ZARRALARNI QAYD ETISH. DASTLABKI KASHF QILINGAN ZARRALAR.

Atom bag'riga yo'l ochilgandan so'ng yadro tuzilishi va elementar zarralar haqida yangi nazariyalar paydo bo'ldi. Bu nazariyalarni isboti sifatida zarralarni qayd etish lozim edi. Zaryadli zarra yoki atom yadrolari harakatini kuzatishning bir necha usullari mavjud. Bu usullarda turli asbob va qurilmalardan foydalaniladi. Elementar zarralarni qayd qiluvchi qurilmalarning barchasining ishlash prinsipi uchib o'tgan zarraning ta'siri natijasida sistemaning yangi holatga o'tishiga asoslanadi. Ana shu qurilmalarning ba'zilar bilan tanishib chiqaylik.

Geyger sanagichi:

Bu asbob avtomat holatda uchib o'tgan zaryadli zarralarni sanaydi. Sanagichning ichki tomoni metall qoplama bilan (katod) qoplangan shisha nay bo'lib, shisha nay o'rtasidan ingichka metall tola (anod) o'tgan. Sanagichning ishlashi zarbdan ionlashga asoslangan. Tashqaridan kirib kelgan elektron, proton yoki α -zarralar nay ichidagi gaz (argon gazi)ni zarbdan ionlantiradi, ya'ni neytral argon atomidan elektronni urib chiqaradi. Natijada, hosil bo'lgan elektron va musbat ion katod va anod orasidagi kuchli elektr maydonida ko'chkiga keladi. Elektronlar gaz atomlarini zarbdan ikkilamchi ionlantiradi. Sanagichdan o'tayotgan tok kuchi keskin ortib ketadi. R nagruzkada kuchlinish impulsi yuzaga keladi. Bu impuls esa qayd qiluvchi qurilmaga uzatiladi (65.1-rasm).

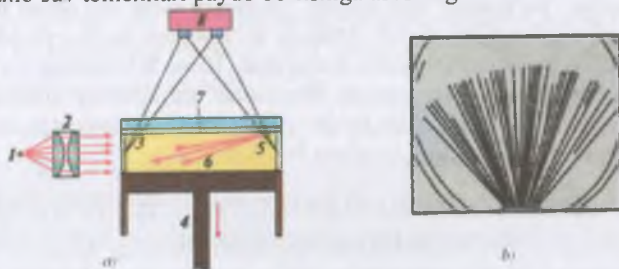


65.1-rasm

Sanagich o'ziga tushayotgan deyarli hamma elektronlarni qayd etadi, γ -kvantlarning esa atigi yuztadan bittasini qayd etadi. Og'ir bo'lgani uchun α -zarralarni qayd qilish birmuncha qiyinroq kechadi. Chunki, sanagichdan α -zarralar o'ta oladigan yetarlicha yupqa devorli nay yasash qiyinroqdir.

Vilson kamerasi:

Sanagichlar faqat o'tgan zarralarni sanasa, 1912-yilda yaratilgan Vilson kamaerasi esa bu zarralarning trekini (izini) kuzatish yoki sur'atga olish imkonini beradi. Vilson kamerasing ishlash prinsipi o'ta to'yingan suv bug'laridan zarra uchib o'tgan joyda kondensatsiyalanib suv tomchilari paydo bo'lishiga asoslangan.



65.2-rasm

Vilson kamerasiga to'yinishga yaqin bo'lgan suv bug'i yoki spirt bug'i to'ldirilgan porshenli idishdan iborat. Porshen keskin pastga surilganda slindr ichidagi to'yinishga yaqin bug' o'ta to'yingan holatga o'tadi (65.2-rasm). O'ta to'yinish beqaror holat bo'ib, unda bug' ososngina kondensatsiyalana boshlaydi. Kamera ichida uchib o'tgan zarra kondensatsiya markazi bo'lib xizmat qiladi. Zarra yo'lida mayda-mayda suv tomchilari paydo bo'lib, zarra trekini hosil qiladi. Kuzatish to'xtagandan so'ng, elektr maydon ta'sirida kameradagi zaryadli zarrachalar tozalanadi va navbatdagi kengayish oldidan elektr maydon ta'siri to'xtatiladi. Jarayon qaytadan boshlanadi. Kamera hajmi va o'lchamlariga qarab tiklanish vaqti bir necha sekunddan bir necha minutlargacha bo'lishi mumkin.

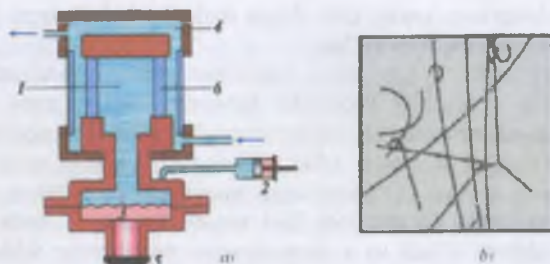
Vilson kamerasi yordamidada sanagichdan ko'ra ko'proq axborot olish mumkin. Trekning uzunligiga qarab zarra energiyasini, trekdagi birlik uzunlikka to'g'ri kelgan tomchilar soniga qarab zarra tezligi, trek yo'g'onligiga qarab zaryad miqdori aniqlanadi. Agar uzunlik birligida qancha ko'p suv tomchilari bo'lsa, zarra tezligi shuncha past ekanligini bildiradi. Agar trek qancha yo'g'on bo'lsa, zarraning zaryadi shuncha katta ekanini bildiradi.

Rus fiziklari P.L.Kapitsa va D.V.Skobelsinlar Vilson kamerasini magnit maydoniga kiritishni taklif qiladi. Ma'lumki, magnit maydonida zaryadli zarralar Lorens kuchi ta'sirida egri chiziqli harakat qiladi. Trek egriligiga qarab zaryadli zarraning solishtirma zaryadini aniqlash mumkin. Agar zaryadli zarra massasi ma'lum bo'lsa, zaryadini va aksincha, zaryadi ma'lum bo'lsa, massasini aniqlash mumkin.

Pufakli kamera:

Pufakli kamera 1952-yilda amerikalik olim D.Gleyzer tomonidan yaratilgan bo'lib, unda to'yingan bug' o'rniga o'ta isitilgan suyuqlikdan foydalanish tavsiya etilgan. Uning ishlashi tuz zaryadli zarralar bu o'ta isitilgan suyuqlikdan o'tganda, suyuqlik moleklalarini ionlantirib pufakchalar hosil qilishga asoslangan.

Dashtlab suyuqlik atmosfera bosimitdan ancha yuqori bosimda turadi. Bu bosim suyuqlik garchi qaynash temperaturasida turgan bo'lsa-da, suyuqlikni qaynab ketishdan saqlab turadi. Bosim keskin pasaytirilganda esa, suyuqlik o'ta to'yingan holatga o'tadi va qisqa vaqt beqaror holatda bo'ladi. Ana shu payt uchib o'tgan zarrachalar o'z yo'lida pufakchalar hosil qiladi (65.3-rasm).



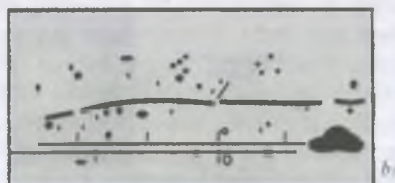
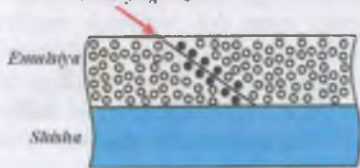
65.3-rasm

Suyuqlik sifatida asosan suyuq vodorod yoki suyuq propan ishlatiladi. Pufakli kameraning ish sikli ancha qisqa bo'lib, u 0,1s atrofida. Pufakli kameraning Vilson kamerasidan avzalligi foydalaniladigan ishchi moddaning zichligi katta bo'lgan uchun zarralar izi va egrilik radiuslari kichik bo'ladi. Pufakli kamera yordamida zarraning magnit maydonda bir necha marta aylanishlarini sur'atga olish mumkin.

Fotoemulsiya usuli:

Juda tez harakatlanayotgan zaryadli zarralar oqimi fotoplastika emulsiya qatlamiga tushganda uni ionlashtirish hodisasi fransuz olimi A.Bekkerelga 1896 yilda radioaktivlikni kashf qilishga sabab bo'ldi.

Tushayotgan zarra



65.4-rasm

Fotoemulsiyada kumush bromidning ko'p miqdordagi kristal donachalari bor. Tez harakatlanayotgan zaryadli zarra kumush atomlaridan elektronni chiqarib uni ionlantiradi. Kristallchalarda ichki yashirin tasvir hosil bo'ladi. Bu tasvir ochilganda kristallchalarda kumush metali qayta tiklanib, kumush donlarining zanjiri zarra trekini hosil qiladi (6.10.4-rasm). Trekning uzunligi va yo'g'onligiga qarab zarraning energiyasi va massasini aniqlash mumkin. Fotoemulsiya moddasi zichligi katta bo'lgani uchun trek uzunligi juda qisqa 10^{-1} sm atrofida bo'ladi. Sur'atga olishda kattalashtirishdan foydalaniladi. Kameralardan fotoemulsiyaning avzalligi shundan iboratki, bunda ekspozitsiya vaqti hohlagancha uzoq.

Yuqorida sanab o'tilgan va boshqa usullar yordamida zaryadli zarralarni kuzatish orqali nafaqat zarralar mavjudligi o'z isbotini topdi, balki ularning solishtirma zaryadlari, energiyalari, impuls va magnit momentlari, tezliklari va boshqa kattaliklari haqida miqdoriy natijalar olindi.

Dastlabki kashf qilingan zarralar:

Elementar zarralar deb, fizika fanining hozirgi taraqqiyot bosqichida eng sodda, ichki strukturaga ega bo'lmagan faqat bitta zarra – o'zidagina tashkil topgan zarraga aytiladi.

1932-yilgacha elementar zarralarnig soni faqat 3 ta edi. 1956-yilga kelib esa ularning soni 30 dan ortdi. Hozirgi vaqtda elementar zarralar jadvalida 400 dan ortiq elementar

zarra (antizarralar bilan birga) mavjuddir. Mana shulardan ba'zilarinng kashf etilish tarixi va fizik xususiyatlari quyidagicha bo'ladi:

1) **Elektron (e)** – 1891 yilda Stoni tomonidan oldindan postulat tarzida aytilgan. Lekin, bu zarraning ochilishini ko'pchilik hollarda Tomson nomi bilan bog'lanadi. Sababi, u 1897 yilda elektronning solishtirma zaryadini tajribada aniq o'lchagan.

Hozirgi zamon fizikasi elektronni ichki tuzilish va o'lchamga ega bo'lmagan haqiqiy elementar zarra deb qaraydi. O'lchashlarga muvofiq, elektronning chiziqli o'lchami (radiusi) $10^{-18}m$ dan kichik deb qaraladi. Elektron elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion ta'sirlashuvlarda ishtirok qiladi va u zaryadlangan zarralarning ichida eng yengilidir. Shuning uchun ham u turg'undir.

2) **Proton (p)** – atom yadrosining tarkibiga kirgan elementar zarra bo'lib, 1919 yilda Rezerford tomonidan kashf qilingan. Lekin, qaysi hodisani proton kashf qilingan hodisa deb aytilish qiyin. Chunki, u vodorod ioni sifatida uzoq vaqtdan buyon ma'lum edi. Protonning ochilishiga 1911-yilda rezerford o'tkazgan tajriba ham, 1906–1919-yillarda J.Tomson, F.Soddi, F.Aston tomonidan izotoplarning ochilishi ham, azot yadrosidan α -zarralar urib chiqargan vodorod yadrolarini kuzatish ham rol 'ynaydi.

3) **Foton (γ)** – Plank va Eynshteyn ishlariga asosan fizikada paydo bo'ldi. Kompton tajribasidan keyin elementar zarra sifatida tan olindi. U atom tarkibiga kirmaydi, undagi elektronlarning bir energetik sathdan boshqasiga o'tish protsessida paydo bo'ladi va yo'qoladi. U neytral zarradir. Fotonning spin kvant soni 1 ga teng. Erkin holatdagi foton absolyut turg'undir. Fotonni ham haqiqiy elementar zarra deb hisoblash mumkin. U faqatgina elektromagnit va gravitatsion ta'sirlashuvlarda ishtirok qiladi va elektromagnit ta'sirlashuv tashuvchisidir. U barcha turdagi elektromagnit to'lqinlari tarkibiga kiradi. 1964-yilda amerikalik radioastronomlar A.Penzias va R.Vilson olam fazosi millimetrlri radioto'lqinlar bilan to'lganini aniqladilar. Aniqlanishicha koinotda fotonlar soni protonlar sonidan milliard marta ko'p ekan.

4) **Graviton (G)** – bu zarra gravitatsion ta'sirlashuv tashuvchisidir. Gravitonning mavjudligi Eynshteynning tortish nazariyasidan, kvant mexanikasi prinsiplaridan va nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadi. Bu ta'sirlashuv intensivligi juda ham kichik bo'lganligi uchun shu vaqtgacha u qayd qilinmagan.

5) **Neytron (n)** – atom yadrosining tarkibiga kiruvchi ikkinchi elementar zarra bo'lib, uni 1932 yilda Chedvik kashf qilgan. Neytron faqat barqaror atom yadrolaridagina turg'undir. Atomdan tashqarida erkin holda u barqaror bo'lmadan, taxminan 16 minutda parchalanib ketadi.

6) **Pozitron ($\bar{e}$)** – 1930 yilda Oppengeymer tomonidan nazariy aytilgan, 1932 yilda Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida kashf etilgan birinchi antizarra. U elektronning antizarrasi bo'lib, massasi elektron massasi bilan bir xil. Zaryadining modullari ham bir xil. Zaryadining ishorasi bilan elektrondan farq qiladi. Pozitron musbat elektr zaryadiga ega.

7) **Myuon (μ)** – 1937 yilda Anderson va Nedermayer tomonidan kosmik nurlar tarkibida kashf etilgan zarra. Massasi elektron massasidan katta, proton massasidan esa ancha kichik. Zaryadining moduli elektron zaryadiga teng. Tabiatda ikki xil elektr ishorali myuon mavjud, ya'ni μ^- (myu-minus) va μ^+ (myu-plyus) mezonlar mavjud. Avvaliga bu zarrani Yukava nazariyasiga asosan kuchli ta'sirlashuv tashuvchisi sifatida qabul qilingan va myu-mezon deb atalgan. Lekin shu narsa ma'lum bo'ldiki, bu zarraning kuchli

ta'sirlashuvga hech qanday aloqasi yo'q ekan. Myuon turg'un bo'lmagan zarra bo'lib, uning o'rtacha yashash vaqti $2,2 \cdot 10^{-8} s$ ni tashkil qiladi.

8) **Neytrino (ν)** – 1930 yilda Pauli tomonidan nazariy yo'l bilan kiritilgan bo'lib, o'tgan asrning 50-yillarining o'rtalariga kelganda tajribada qayd qilingan zarra. Energiyaning saqlanish qonuni bajarilishi nuqtai-nazaridan kiritilgan. Neytrinoning elektr zaryadi yo'q, tinchlikdagi massasi 0 ga yaqin, o'tish qobiliyat juda ham katta. 1934-yilda Fermining beta yemirilish nazariyasida eksperimentlarda tasdiqlandi. Uni tutishga 20 yil vaqt kerak bo'ldi. 1953-yil F.Reynis va K.Kouen tomonidan atom reaktorida o'tkazilgan tajribada qayd etildi. Hozirgi vaqtda uning uch xil turi mavjud bo'lib, ular ν_e – **elektron neytrino**, ν_μ – **myuon neytrino**, ν_τ – **taon neytrinolari**dir. Neytrino barqaror zarradir.

9) **Pion (π)** – 1935 yilda Yukava tomonidan yadro kuchlarining tabiatini tushuntirish uchun nazariy yo'l bilan kiritilgan zarra. Yukava uch xil π^+ , π^- , π^0 pionlarni nazariy yo'l bilan kiritgan. Uning mavjudligi 1947-50 yillarda Pauell, Okkialini, Berklundlar tomonidan tajribada kashf qilingan.



1. Geyger sanagichi qanday ishlaydi?
2. Vilson kamerasi qanday ishlaydi?
3. Pufakli kamera qanday ishlaydi?
4. Fotoemulsiya usulida elementar zarraning qaysi parametrlarini aniqlash mumkin?
5. Elementar zarralar haqida so'zlab bering.



§ 66. ELEMENTARZARRALARNI XARAKTERLOVCHI KATTALIKLAR. ANNIGLYATSIYA. ELEMENTAR ZARRALARNING SINFLARI

Elementarzarralarni xarakterlovchi kattaliklar:

Barcha elementar zarralar massasi, elektr zaryadi, o'rtacha yashash vaqti, spini va boshqa kattaliklar bilan ham xarakterlanadi. Ana shu kattaliklarga qisqacha to'xtalib o'taylik.

a) *Elementar zarralarni barchasi massaga ega.* Ularning massasi va energiyasi orasida ushbu bog'lanish mavjud.

$$W^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4 = m^2 c^2$$

Foton tinchlikda massaga ega bo'lmagani bois, fotonda bu bog'lanish

$$W = pc$$

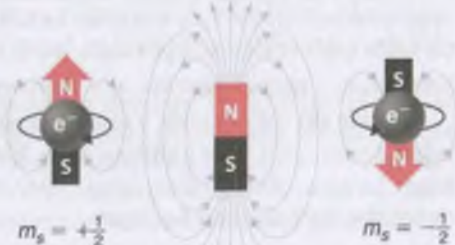
bo'ladi.

b) *Elementar zarralarning ko'pi elektr zaryadiga ega.* Ularning zaryadi e elementar zaryad birligida +1 va -1ga tengdir. Ikki yoki undan ko'p zaryadli zarralar mavjud emas. Zaryadsiz zarralar ham bor. Masalan, neytron va neytrinoni zaryadi 0 ga teng.

c) *Elementar zarralarning ko'pi barqaror emas va o'rtacha yashash vaqti juda qisqa.* Bu zarralar hech qanday tashqi ta'sir bo'lnasa ham $2 \cdot 10^{-6} s$ vaqtdan ko'p yashay olmas ekan. Faqatgina to'rtta zarra – foton, elektron, proton va neytrino barqarordir. Bu zarralardan har biri olamda faqat o'zi bo'lganda edi o'zining o'zgarmasligini saqlar edi.

d) *Barcha elementar zarralar spini bilan xarakterlanadi.* Ko'pchilik elementar zarralarning spini $\hbar \left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$ birligida $\frac{1}{2}$ ga tengdir. Masalan, elektron, proton va neytronning spini $\frac{1}{2}$ ga teng. Undan tashqari spini 1 ga teng bo'lgan foton hamda spini 0

ga teng bo'lgan K-mezon, π -mezon, η -mezon ham mavjud. Spin tushunchasiga to'xtaladigan bo'lsak, bu zarrachaning o'z o'qi atrofida aylanishidan hosil bo'ladigan xususiy mexanik momentidir, ya'ni xususiy impuls momentidir. Mexanika bo'limidan ma'lumki, aylanayotgan jism $L = I\omega$ impuls momentiga ega bo'ladi. Xuddi shi singari aylanayotgan zarralar ham spinga ega bo'ladi. Faqat jismlarni impuls momentini tezlashtirish yoki sekinlashtirish orqali mexanik momentini o'zgartirish imkoni bo'lgani kabi zarralarning spinini o'zgartirib bo'lmaydi. Har bir zarraning o'zgarmas o'z spini bo'lib, bu uning massasi va zaryadi kabi ajralmas xossasidir. Zaryadli zarra harakatidan magnit moment paydo bo'ladi. O'z o'qi atrofida aylanishidan hosil bo'lgan magnit momentni spin moment deyiladi. Spinga ega bo'lgan zarra borki, u spin momentga ham ega bo'ladi. Zarralarning spin momentlari ularning atrofida magnit sterjen kabi magnit maydon hosil qiladi. 66.1-rasmda ana shu holat tasvirlangan.



66.1-rasm

e) *Elementar zarralarning antizarrasi.* Elementar zarralarning yana bir xarakterli xususiyati ularning antizarrasining mavjudligidir. Zarra va antizarra bir xil miqdordagi massaga, elektr zaryadiga, spinga ega bo'ladi. Lekin, ular zaryadlari qarama-qarshi ishorali va spinlari qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Elektr zaryadi yo'q bo'lganda esa ular faqat o'zaro qarama-qarshi yo'nalgan spinlari bilan farq qiladi. Maslan, proton p va antiproton $\bar{p}$, elektron e va pozitron $\bar{e}$, neytron n va antineytron $\bar{n}$ kabilar zarra va antizarralarga misol bo'ladi. To'rtta zarra – γ -foton, π^0 -mezon, K_L^0 -mezon, K_S^0 -mezon zarralarning antizarrasi mavjud emas. Bu zarralar *absolyut neytral zarralar* deb ataladi. Absolyut neytral degan tushunchani elektroneytral degan tushuncha bilan adashtirmaslik kerak. Masalan, neytron elektroneytral bo'lsa-da antizarraga ega.

Antizarralar ichida pozitron eng birinchi kashf qilingan antizarradir. Uning mavjudligi Dirak tenglamalarida 1930-yilda nazariy aytilgan, 1932-yilda esa K.Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida aniqlangan. 1955-1956 yillarda Amerikalik fiziklar B.Kork, G.Lambertson, O.Pichchioniy, V.Venzellar tezlatkichlarda antiproton va antineytronni kuzatganlar. Keyinroq yuqori energiyali zarralar yadro reaksiyalarining mahsulotlari orasida antideytronlar (antiproton va antineytrondan iborat yadro) borligi aniqlandi. 1970-yilda Serpuxovada Yuqori energiyalar fizikasi institutida antigeliy-3 (ikkita antiproton va bitta antineytrondan iborat yadro) olindi. Nazariy jihatdan antiproton va antineytronlardan antiyadro qurish va u bilan pozitron birgalikda antiatomni hosil qilish mumkin. Antiatomlar birikib antimoddani tashkil qilishi mumkin. Lekin, hozirchalik antimodda aniqlanmagan.

Elementar zarralarning o'zaro aylanishlari, annigilyatsiya:

Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashishi ularning bir-biriga aylanishiga olib keladi. Bu o'zgarish ularning o'z-o'zidan parchalanib, bir necha yengilroq zarralarga bo'linib ketishidan iborat bo'lishi mumkin. Foton, elektron, proton, elektron neytrinosi va myu-mezon neytrinosi bularga kirmaydi. Chunki ular barqaror zarralardir. O'z-o'zidan parchalanish har bir barqaror bo'lmagan zarra uchun biror vaqt oraliq'ida sodir bo'lib, bu

vaqtga *o'rtacha yashash vaqti* deyiladi. Bundan tashqari ular o'zaro ta'sir vaqtida bir-biriga aylanishlari mumkin, bu ularning xarakterli xossasidir.

Zarra va antizarra o'zaro to'qnashganda ular boshqa elementar zarralarga aylanadi hamda o'z mavjudligini yo'qotadi. Bu hodisaga *anniglyatsiya* deyiladi. Jufatlarning anniglyatsiyasiga masalan, proton va antiprotonning uchrashib pi-nol-mezonga aylanishi

$$p + \bar{p} \rightarrow 2\pi^0$$

yoki proton va antiprotonning uchrashib neytron va antineytronga aylanishi

$$p + \bar{p} \rightarrow n + \bar{n}$$

yoki bo'masa elektron va pozitronning uchrashib pozitronga aylanishi

$$e + \bar{e} \rightarrow 2\gamma$$

jarayonlarini misol qilish mumkin.

Anniglyatsiyaga teskari jarayonlar ham uchraydi. Bunda zarralar va antizarralar paydo bo'ladi. Bu hodisaga *juftlarning paydo bo'lishi* deyiladi. Bunga misol qilib, elektomagnit maydonning elektron bilan ta'sirlashishidan

$$e + \gamma \rightarrow e + e + \bar{e}$$

ikki elektron o'zaro to'qnashganda

$$e + e \rightarrow e + e + e + \bar{e}$$

jufklar paydo bo'lishini olish mumkin.

Anniglyatsiyaga so'zi yo'qolish degan ma'noni beradi. Lekin, bunda materiya butunlay yo'qolmaydi.

Anniglyatsiyadan tashqari zarralarning bir-biriga aylanishlari ham kuzatiladi. Yadro β^- yemirilishga uchraganda neytron

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$$

uchta zarraga sochiladi. Shuningdek, β^- yemirilishga uchraganda proton

$$p \rightarrow n + \bar{e} + \nu_e$$

uchta zarraga sochiladi. Shunday qilib, elementar zarralar bir-biriga aylanishlari mumkin ekan.

Elementar zarralardagi o'zgarishlar paytida ular massa, energiya, impuls, impuls momenti, elektr zaryadi va boshqa saqlanish qonunlariga qat'iy bo'ysunadi.

Elementar zarralarning sinflari:

Barcha elementar zarralar tinchlikdagi massasining ortib borishi tartibida va ularning bir qancha xususiyatlarini e'riborga olgan holda 4 ta sinfga bo'linadi (66.1-jadval).

1. Fotonlar ($m_0 = 0$).
2. Leptonlar yoki yengil zarralar ($0 < m_0 < m_e$).
3. Mezonlar yoki oraliqdagi zarralar ($m_e < m_\pi < m_p$).
4. Barionlar yoki og'ir zarralar ($m_p < m_0 < m_d$)

Bu yerda: m_d – deyttronning massasi. Barionlar o'z navbatida yana nuklonlar va giperonlarga bo'linadi. Barionlar va mezonlarni birgalikda *adronlar* deb ataladi. Tau-mezonning ko'p xossasi leptonlar xossalariga yaqin bo'lgani sababli ularni leptonlar sinfga kiritilgan. Jadvalda zarralarning massalarini elektron massalarida, zaryadlar elektron zaryadi birligida va spinlari $\hbar \left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$ birligida berilgan.

Zarraning nomi		Zarra	Antizarra	Massasi	Zaryadi	O'rtacha yashash vaqti, s	Spin i
Foton		γ	-	0	0	stabil	1
Leptonlar	Elektron neytrinosi	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	stabil	$\frac{1}{2}$
	Myu-mezon neytrinosi	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	stabil	$\frac{1}{2}$
	Tau-mezon neytrinosi	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	stabil	$\frac{1}{2}$
	Elektron	e^-	e^+	1	-1	stabil	$\frac{1}{2}$
Mezonlar	Myu-minus-mezon	μ^-	μ^+	206,7	-1	$2,2 \cdot 10^{-6} s$	$\frac{1}{2}$
	Tau-minus-mezon	τ^-	τ^+	352,8	-1	$2,8 \cdot 10^{-13} s$	$\frac{1}{2}$
	Pi-nol-mezon	π^0	-	264,1	0	$2 \cdot 10^{-17} s$	0
	Pi-plyus-mezon	π^+	π^-	273,1	+1	$2,6 \cdot 10^{-8} s$	0
Mezonlar	Ka-minus-mezon	K^-	K^+	966,4	+1	$1,22 \cdot 10^{-8} s$	0
	Ka-nol-mezon	K^0	-	974,2	0	$10^{-10} s$	0
	Eta-nol-mezon	η^0	-	1074	0	$10^{-10} s$	0
Barionlar	Nuklonlar						
	Proton	p	$\bar{p}$	1836,1	+1	stabil	$\frac{1}{2}$
	Neytron	n	$\bar{n}$	1838,6	0	960 s	$\frac{1}{2}$
	Giperonlar						
Barionlar	Lyambda-nol-giperon	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2183	0	$2,5 \cdot 10^{-10} s$	$\frac{1}{2}$
	Sigma-plyus-giperon	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	2327,7	+1	$8,1 \cdot 10^{-13} s$	$\frac{1}{2}$
	Sigma-nol-giperon	Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	2331,8	0	$10^{-14} s$	$\frac{1}{2}$
	Sigma-minus-giperon	Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	2340,6	-1	$1,65 \cdot 10^{-11} s$	$\frac{1}{2}$
	Ksi-nol-giperon	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	2572	0	$3 \cdot 10^{-10} s$	$\frac{1}{2}$
	Ksi-minus-giperon	Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	2585	-1	$1,75 \cdot 10^{-10} s$	$\frac{1}{2}$
	Omega-minus-giperon	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	3273	-1	$1,75 \cdot 10^{-10} s$	$\frac{3}{2}$

Shuni alohida qayd etib o'tish kerakki, elementar zarralarning jadvaldigidan tashqari yana barion zaryad, lepton zaryad, g'alatilik kvant soni, maftunkorlik kvant soni, izotoplik spin kabi kattaliklar bilan ham xarakterlanadi.



1. Elementar zarra deb nimaga aytiladi?
2. Qanday elementar zarralarni bilasiz?
3. Elementar zarralarni xarakterlovchi asosiy kattaliklarni aytib bering.
4. Antizarra qanday zarra? Absolyut neytral zarra nima? Anniglyatsiya nima?
5. Barqaror zarralarga qaysi zarralar kiradi?
6. Elementar zarralarning sinflarini aytib bering.



§ 67. OLAMNING YAGONA FIZIK MANZARASI.

Shunday qilib biz fizika kursining barcha bo'limlari bilan tanishib chiqdik. Fizika fanining maqsadi tabiatning umumiy qonunlarini aniqlash, shu asosda jarayonlarning sabablarini tushuntirib berish hamda bu qonunlardan amaliyotda foydalanish yo'l-yo'riqlarini ko'rsatib berishdan iborat. Bu maqsadga yaqinlashgan sari olimlar oldida tabiat birligining murakkab manzarasi tobora yaqinlasha bishladi. Olam bir-biriga bog'liq

bo'lmagan alohida-alohida hodisalarning to'plami emas, balki bir butunning turli-tuman ko'rinishlarda namoyon bo'lishidir.

Fizika fanining rivojlanish tarixida kashf etilgan nazariyalar asosida olimlar olamning yagona manzarasini tuzishga harakat qilib kelganlar.

Olamning mexanika manzarasi:

Jismlarning harakati va muvozonati haqida fan – mexanika dunyoning fizik manzarasini shakllanishidagi dastlabki bisqichda turadi. Bunda Nyuton qonunlari mustahkam poydevor vazifasini o'taydi. I.Nyuton kiritgan qonunlarga asoslanib olimlar olamning mexanik manzarasini tuzishga harakat qilganlar. Masalan, Nyutinning fikriga ko'ra olam qattiq va ichiga hech narsa kira olmaydigan harakatchan zarralardan iborat. Ular jismlarga qaraganda o'ta qattiq bo'lib, ular hech qachn yemirilmaydi yoki mayda bo'laklarga bo'linib ketmaydi. Bu qattiq zarralar massalari bilan farqlanadi. Olamning butun borlig'i bu mayda zarralarning harakatidagi farqlar natijasidir deb qaraldi. XIX asrning o'rtalarigacha olimlar Nyuton mexanikasi qonunlarini olamning yagona qonunlari deb qarab keldilar. Biroq elektromagnit jarayonlarni o'rganishda bu qonunlar ish bermay qoldi. Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit maydon qonunlarini Nyuton mexanikasiga keltirib bo'lmadi.

Olamning elektromagnit manzarasi:

Fizikaning elektr zaryadlari ta'sirini o'rganuvchi bo'limi elektrodinamika deb atalib, unga J.K.Maksvell o'zining 4 ta tenglamasi orqali asos solgan. Bu qonunlar Nyuton tarafdori bo'lgan uzoqdan ta'sir qilish nazariyasini rad etib, yaqindan ta'sir nazariyasiga asos soldi. Bu nazariyaga ko'ra fazoda ta'sirlashayotgan har bir zarra chekli tezlik bilan tarqaladigan elektromagnit maydon hosil qiladi va shu maydon ta'sir uzatuvchi vazifani bajaradi.

Elektromagnit kuchlar olamda eng ko'p tarqalgan kuchlardir. Ular atom yadrosida, atom va molekulada, moddalarda uchraydi. Elektrodinamikaning taraqqiyoti olamning yagona elektromagnit manzarasini yaratishga doir urinishga olib keldi. Bu manzaraga muvofiq olamdagi barcha hodisalar elektromagnit kuchlar bilan boshqariladi. Olamning elektromagnit manzarasi nisbiylik nazariyasi yaratilgandan so'ng eng oliy darajaga ko'tarildi. Olamning mexanik manzarasi ravnaq topgan paytlarda elektromagnit hodisalarni olam efridagi mexanik jarayonlar deb qarashga urinilgan bo'lsa, endi, aksincha, zarralarning harakat qonunlarini elektromagnit nazariyadan keltirib chiqarishga urinishlar bo'ldi.

Biroq tabiatdagi barcha jarayonlarni elektromagnit jarayonlardan keltirib chiqarib bo'lmadi. Zarralarning harakati, gravitatsion o'zaro ta'sir qonunlarini elektromagnit ta'sir tenglamalaridan keltirib chiqarib bo'lmadi. Tabiat oldin tasavvur qilgandan ko'ra ancha murakkab bo'lib chiqdi. Tabiatdagi turli-tuman hodisa va jarayonlarni yagona qonun qamrab olmas ekan. Olam qancha turli-tuman bo'lmasin, ulardagi atomlar bit xil. XX asrning I-yarmida barcha elementar zarralar bir-biriga aylana olishi aniqlandi. Elementar zarralar va ularning o'zaro aylanishlari kash qilingandan so'ng materiya tuzilishining birligi olamning yagona manzarasida asosiy o'ringa chiqdi. Buning zamirida barcha zarralarning moddiyiligi yotadi. Turli elementar zarralar materiya mavjudligining turli konkret shakllaridir.

Olamning zamonaviy manzarasi:

Olamning yagonaligi materiya tuzilishining birligi bilan cheklanib qolmaydi. Olamning yagonaligi zarralarning harakat qonunlarida va o'zaro ta'sirlarida ham

namoyon bo'ladi. So'nggi o'n yilliklarda fiziklar erishgan muvaffaqiyatlar bizni o'rab olgan olam qanday tuzilgani va qanday qonunlar asosida rivojlangani haqida tasavvur qilishga imkon berdi.

Barcha o'zaro ta'sirlashuvchi jismlar 2 gurug'dagi zarralardan iborat. Ularning bir guruhi fundamental o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi zarralar kirs, ikinchisiga esa ta'sir tashuvchilar kiradi.

Jismlarning o'zaro ta'sirlari nihoyatda turli-tuman bo'lishiga qaramay ular 4 ta ta'sir turiga bo'ysunadilar. Bu o'zaro ta'sir ishtirokchisiga leptonlar va kvarklar kiradi. Leptonlar soni 6 ta bo'lib ularning yana shuncha antizarrasi ham bor. Xuddi shu kabi ma'lum aromatli har bir kvark rangi bo'yicha farqlanuvchi uch holatda bo'lishi mumkinligini inobatga olinsa, har xil aromatli va rangli kvarklarning soni 18 ta bo'ladi. Har bir kvarkka antikvark mos keladi.

Shunday qilib o'zaro ta'sir ishtirokchilar guruhiga 12ta lepton va 36 ta kvark, jami 48 ta turli zarralar kiradi. Bu zarralar *tabiatning qurilish "g'isht"lari bo'lgan fundamental zarralardir*.

Bu fundamental zarralar orasidagi o'zaro ta'sir uni tashuvchi boshqa zarralar hisobiga amalga oshadi. Gravitatsion o'zaro ta'sir gravitonlar vositasida, kuchsiz o'zaro ta'sir vektor bozonlar vositasida, kuchli o'zaro ta'sir glyuonlar vositasida, elektromagnit o'zaro ta'sir fotonlar vositasida amalga oshadi. Fundamental o'zaro ta'sirlarning almashinish nazariyasi va modda tuzilishining lepton-kvark modeli umumiy ma'nodagi olamning hozirgi zamon fizik manzarasini tuzishga imkon beradi.



1. Olamning mexanik manzarasini aytib bering
2. Olamning elektromagnit manzarasini aytib bering
3. Olamning zamonaviy manzarasini aytib bering
4. Lepton-kvark model mima?

TESTLARNING JAVOBLARI

I-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	C	D	A	B	A	B	E	C
1	D	C	E	A	E	B	B	A	C	B
2	D	E	D	C	D	C	C	B	D	A
3	E	A								

II-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		A	A	C	D	A	C	C	A	A
1	C	B	B	C	C	D	C	C	C	B
2	A	B	D	D	A	A				
3										

III-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		C	C	B	C	A	A	A	A	C
1	C	C	B	C	B	C	E	D	D	D
2	E	A	E	B	D	D	A	B	D	D

IV-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		C	B	D	B	B	B	B	D	C
1	A	A	A	A	C	A	C	D	D	B
2	B	B	A	D	A	A	B	A	E	D
3	D	C								

V-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		C	E	D	D	E	A	C	C	D
1	D	E	B	A	C	C	C	D	D	C
2	B	C	A	A	D	B	B	C	B	B
3	A	B	C	E	D					

VI-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	B	A	A	B	C	B	A	D
1	C									

VII-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		D	B	C	D	B	B	B	C	A
1	B	E	A	E	D	D	E	D	B	A
2	C	B	E	C						

VIII-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	A	C	B	C	C	D	B	A
1	A	A	D	D	B	C	A	C	C	A
2	A	A	C	B	E	A	A	E	E	C
3	C	D	A	A						

IX-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	D	E	E	A	D	E	D	D
1	E	A	A	B	A	B	D	E	C	E
2	A	D	B	D	A	C	B			
3										

X-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		D	C	A	A	D	E	E	B	A
1	B	D	B	D	B					

XI-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		A	A	C	A	B	A	B	A	C
1	E	B	C	E	C	B	A	D	D	B
2	B	A	D	B	B	E	A	E	C	A

XII-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		A	A	B	B	A	C	B	D	D
1	E	B	C	C	B	A	C	C	E	E
2	B	D	E							

TOPSHIRIQLARNING JAVOBLARI

I-BOB

1. $5 \cdot 10^{16}$; 2. 6,8 kV; 3. 2500; 4. 0,017; 5. 1500; 6. 3; 7. 10^4 ta; 8. 3 marta kamaygan; 9. $R/16$; 10. 1,5 marta; 11. $0,1 \Omega$; 12. 3 marta; 13. 18; 14. 20 min; 15. 1,5; 16. 1 A; 17. 0,4 Ohm; 18. 30 A; 19. 110 ta; 20. 0,285 A; 21. 40 A; 22. 0,02 Ohm; 23. 3800 Ohm; 24. birinchisida 1,5 marta katta; 25. 4300 Vt; 19,6 A; 26. 12 m; 27. 60 Vt.

II-BOB

1. 0,0329; 2. 2,4; 3. 5,4; 4. 0,2 A; 5. 1,3; 6. $3,3 \cdot 10^7$; 7. 2,04 kg/Kl; 8. 74 g; 9. $2 \cdot 10^{-6}$ kg/Kl; 10. 66; 11. 0,9; 12. $1,4 \cdot 10^{-5} m^3$; $0,7 \cdot 10^{-5} m^3$; 13. 37000 kVt-soat; 14. $1,12 \cdot 10^{-6}$ kg/Kl; 15. 0,79 kg; 16. $1,21 \cdot 10^{-6} m$; 17. $\approx 1,3 \cdot 10^2$ Ohm; $1,3 \cdot 10^7$ Ohm; 18. 9500 μA ; 19. 8,2 mA; 20. $10^4 eV$; 3 Vt; $1,9 \cdot 10^{15} ta$; 21. $6,25 \cdot 10^{20} ta$; 22. 800 V.

III-BOB

1. 30 μTl ; 2. 1; 3. 0,4; 4. 2 marta ortadi; 5. $6,4 \cdot 10^{-12}$; 6. 10 mTl; 7. $10^7 m/s$; 8. 0; 9. 10; 10. 90; 11. 0; 12. 5 Tl; 13. 0,1 Tl; 14. 60^0 ; 15. 10^{-4} ; 16. 900 V; 17. 200; 18. $0,6 \frac{Wh}{s}$; 19. 0,2; 20. 0,4 A; 21. $3,14 \cdot 10^{-2} s$; 22. 0,4 V; 23. 1 V; 24. 0,2 Tl; 25. 16 m/s; 26. 1 m/s; 27. 1,5 Gn; 28. 1,6 mGn; 29. 0,5 Vb; 30. 5 A; 31. 0,15 V; 32. 1,2 J; 33. Tok oqayotgan spiralning har bir o'ramni magnit plastinkaga o'xshatish mumkin. Bu plastinkalarning bir xil ishorali qutblari bir tomonga, boshqa qutblari esa ikkinchi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun ular o'zaro tortiladi va prujina siqiladi; 34. 15 A; 35. 17^0 ; 36. 0,2 Tl; 37. $3,2 \cdot 10^{-19} Kl$; 38. $10^{15} m/s^2$; 39. 0,5s; 5 A; 40. 0,1 V; 41. 50 V; 42. 64; 43. $7,1 \cdot 10^4 Gn$; $1,42 \cdot 10^{-3} Vb$; 44. 399; 45. 1,55 A.

IV-BOB

1. 10; 2. $T = \frac{1}{8} s$; 3. 5Gs; 4. 10; 5. 1 sm; 6. 3,2 Gs; 7. 16; 8. 8; 9. 2; 10. 0,628; 11. 0,628 s; 12. 2,5 mm; 13. 2,5; 14. 10s; 15. 3s; 16. 4m; 17. 2m; 18. 6s; 19. 2m; 20. 340; 21. 4,5 marta ortadi; 22. 15 marta ortadi; 23. 1480m; 24. 1500 m.

V-BOB

1. 9554 ta; 2. 1,25; 3. 1 Gn; 4. 2 mA; 5. 2 nKl; 6. 200 Gs; 7. $U = 150 \sin 200\pi t$; 8. 100 V; 9. 50; 10. 0,02; 11. 5500 V; 12. 6 A; 13. $\frac{\pi}{6}$; 14. 40 A; 15. 310 V; 16. 628; 17. $\omega L/\sqrt{2}$; 18. 1000; 19. 250; 20. 1,5; 21. 200 ta; 22. $1,2 \cdot 10^{15} Gs$; 23. 500 pF.

VI-BOB

1. 0,37 m; 2. 14,6 lk, 14,6 lk, 12,8 lk; 3. 400 kd; 4. 36 kd; 5. 65lk, 35 lk, 12, 5lk; 6. Kichik lampadan 0,33 m masofada; 7. 210 lk; 8. 0,1 m; 9. 17,6 lm/Vt; 10. 3,16 m; 11. $8 \cdot 10^4 lk$.

VII-BOB

1. 55^0 ; 2. $1.23 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; 3. $\sqrt{3}$; 4. 60^0 ; 5. $\sqrt{3}$; 6. 30^0 ; 7. 45^0 ; 8. $K=4$; 9. 6 sm ; 10. 20 sm ; 11. $1,5$; 12. -4 ; 13. -1 ; 14. $0,2 \text{ m}$; 15. 30^0 ; 16. 45^0 ; 17. Cheksizda; 18. $0,3 \text{ m}$; 19. $0,6 \text{ m}$; 20. 2 m ; 21. $7,5 \text{ sm}$; $-1,5 \text{ sm}$; 22. 2 m ; 23. $1,5^0$; 24. $18,6 \text{ sm}$; 25. $0,86 \text{ m}$; 26. $R_1 = R_2 = 0,4 \text{ m}$; 27. $1,5$; 28. 11 sm .

VIII-BOB

1. $223380 \frac{\text{km}}{\text{s}}$; 2. $1,5$; 3. $2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; 4. $0,45 \mu\text{m}$; 5. $\pi/2$; 6. 4π ; 7. π ; 8. $\frac{\lambda}{8}$; 9. maksimum; 10. 1 ; 11. 5 mkm ; 12. 30^0 ; 13. 585 ; 14. $k=3$; 15. 45^0 ; 16. $0,125$; 17. 2 .

IX-BOB

1. 40 ; 2. $4,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}$; 3. 130 ; 4. 10^{15} Gs ; 5. $4,3 \text{ eV}$; 6. $3,3 \cdot 10^{-19}$; 7. $1,6 \cdot 10^{-19}$; 8. $1,7 \cdot 10^6 \text{ m/s}$; 9. $98,6 \text{ nm}$; 10. 10^{15} Gs ; 11. $0,51$; 12. 132 ; 13. 14 eV ; 14. $3 \cdot 10^{32}$; 15. 200 nm ; 16. 10^{18} ta . 17. $T=1000 \text{ K}$; 18. $W=6,53 \cdot 10^{21} \text{ kVt} \cdot \text{soat}$; 19. 20. $T=1000 \text{ K}$; 21. $W=7,35 \cdot 10^3 \text{ J}$; 22. $S=1,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$; 23. $52,5 \text{ Vt}$; 24. 16 марта ортади; 25. $\Delta T = T_1 \left(\sqrt{\frac{E_2}{E_1}} - 1 \right) = 126 \text{ K}$; 26.

$$\lambda' = \lambda + 2\lambda_c \sin^2 \frac{\varphi}{2} = 59,9 \text{ pm}; 27. 2,8 \text{ марта.}$$

X-BOB

1. $1,25 \text{ marta}$; 2. $1,26 \text{ marta ortadi}$; 3. 4 marta ; 4. 10^{-14} kg ; 5. $4,667 \cdot 10^{-12} \text{ kg ortadi}$. 6. $\frac{13}{14} c$; 7. $\ell = 0,8 \text{ m}$; 8. 5 marta ; 9. 53 yil ; 10. $1,67 \text{ m.a.b.}$ 11. $g = \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{n} c$; 12. $68,6\%$; 13. $7,1 \text{ marta}$; 15. $1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; 16. $22,37 \text{ marta}$; 17. $1,2 \text{ marta}$; 18. $E_k^{klat} = 114 \text{ keV}$; $E_k^{rel} = 175 \text{ keV}$; 19. $1,11 \cdot 10^{-17} \text{ kg}$; 20. $8,2 \cdot 10^{-14} \text{ J}$.

XI-BOB

1. $3,13$; 2. 775 ; 3. $13,4 \cdot 10^7$; 4. $3,31 \cdot 10^{-14} \text{ m}$; 5. $5,44 \cdot 10^{-15} \text{ m}$; 6. $\alpha \approx 160^0$; 7. 1087 ; 8. $3\hbar$; 9. $288,5$; 10. 800 ; 11. 105348 ; 12. 691 ; 13. 9145 ; 14. 154 ; 15. 2675 ; 16. 12193 ; 17. 4 ; 18. $8,46$; 19. 6 ; 20. $0,438$; 21. $1,51$; 22. $-6,8$; 23. $3,42 \text{ eV}$; 24. $\lambda_{2,3} = 121,6 \text{ nm}$; $\lambda_{1,3} = 102,6 \text{ nm}$; $\lambda_{2,1} = 656,3 \text{ nm}$; 25. 1) $T = 1,43 \cdot 10^{-16} \text{ s}$, $\omega = 4,4 \cdot 10^{16} \text{ rad/s}$; 26. $10,2 \text{ eV}$ 27. $K = 13,6 \text{ eV}$; $\Pi = -2K = -27,2 \text{ eV}$; $E_m = K + \Pi = -13,6 \text{ eV}$; 28. 2; 29. $6,62 \cdot 10^{-25}$; 30. 2; 31. $5,95$; 32. $2,68 \cdot 10^{-18}$; 33. 1) $\lambda = 7,3 \text{ \AA}$; 2) $\lambda = 1,44 \text{ \AA}$; 3) $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-25} \text{ m}$; 34. $0,122 \text{ \AA}$; $0,0087 \text{ \AA}$. 35. $\ell = 1$; $m = -1, 0, 1$; 36. $L = 0, \pm \hbar, \pm 2\hbar$; $\mu = 0, \pm \mu_{\text{Bor}}, \pm 2\mu_{\text{Bor}}$; 37. $L = 2\sqrt{3} \hbar$, $\mu = 2\sqrt{3} \mu_{\text{Bor}}$;

XII-BOB

1. 82 marta ; 2. 11742 marta ; 3. 72 soat ; 4. $9,76 \cdot 10^5$; 5. $\tau = T / \ln 2 = 11,5 \text{ sutka}$; 6. $T = \tau \cdot \ln 2 = 5,09 \text{ sutka}$; 7. $T = t / \log_2 n = 4 \text{ sutka}$; 8. ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$; ${}^{209}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{209}_{83}\text{Bi} + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$; 9. ${}^{56}_{26}\text{Fe} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{54}_{25}\text{Mn} + {}^4_2\text{He}$; ${}^{54}_{26}\text{Fe} + {}^0_0n \rightarrow {}^{54}_{25}\text{Mn} + {}^1_1\text{H}$; 10. ${}^{253}_{99}\text{Es} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{256}_{101}\text{Md} + {}^1_0n$; 11. ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0n \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$; 12. ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^1_0n$; 13. ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{Si} + {}^1_1\text{H}$; 14. ${}^{94}_{38}\text{Sr}$; 15. $1,513 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$; $6,996 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$; 16. $2,224 \text{ MeV}$; $28,3 \text{ MeV}$; $342,05 \text{ MeV}$; 17. $4,04 \text{ MeV}$ energiya ajraladi; $2,792 \text{ MeV}$ energiya yutiladi; 18. $-1,193 \text{ MeV}$, energiya yutiladi; 19. $2,792 \text{ MeV}$; 20. $22,38 \text{ MeV}$; 21. $17,59 \text{ MeV}$; 22. $\Delta E = (Zm_p + Nm_n - M + Zm_e) \cdot 931,5 \text{ MeV} = 224,9 \text{ MeV}$; 23. $5,606 \text{ MeV / nuklon}$.

ILOVALAR

Xalqaro sistema(SI)da fizik kattaliklarning o'lchov birliklari

Kattalikning nomi	Kattalikning o'lchov birligi		
	nomi	belgisi	ta'rif
1	2	3	4
Uzunlik	Metr	m	Kripton-86 $2P_{10}$ va $5d_5$ sathlari orasidagi o'tishga mos bo'lgan vakuumdagi nurlanishning 1 650 763 730 to'lg'in uzunligi 1 metr deb qabul qilingan.
Massa	Kilogram	kg	Xalqaro kilogram protipining massasini 1 kg deb qabul qilingan.
Vaqt	Sekund	s	Seziy-133 atomi asosiy holatining ikki o'ta nozik sathlari orasidagi o'tishga mos bo'lgan 9 192 631 770 nurlanish davri 1 sekund deb qabul qilingan
Tok kuchi	Amper	A	Amper – vakuumda bir-biridan 1 metr masofa-da joylashgan ikki parallel cheksiz uzun va kesimi juda kichik to'g'ri o'tkazgichlardan tok o'tganda o'tkazgichning har bir metr uzunligida $2 \cdot 10^{-7}$ N o'zaro ta'sir kuchi hosil qiladigan o'zgarmas tok kuchidir.
Absolyut temperatura	Kelvin	K	Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning 1/273,16 ulushi 1 Kelvin deb qabul qilingan.
Modda miqdori	Mol	mol	Uglerod-12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng element (atom, molekula, ion,...) lardan tashkil topgan sistemadagi modda miqdori 1 mol deb qabul qilingan.
Yorug'lik kuchi	Kandela	Kd	101325 Pa bosim ostidagi platinaning qotish temperaturasiga teng temperaturadagi to'la nurlangichning 1/600000 m^2 yuzidan perpendikulyar ravishda chiqarilayotgan yorug'lik kuchi 1 kandela deb qabul qilingan.
Yassi burchak	Radian	rad	Uzunligi radiusga teng yoyga tiriluvchi markaziy burchak 1 radian deb qabul qilingan.
Fazoviy burchak	Steradian	sr	Uchi sfera markazida bo'lgan va shu sfera markazidan radius kvadratiga teng yuzli sirtini ajratadigan fazoviy burchakni 1 steradian deb qabul qilingan.
Yuza	Metr kvadrat	m^2	$1 m^2$ – tomonlarining uzunligi 1m dan bo'lgan kvadratning yuzi
Hajm	Metr kub	m^3	$1 m^3$ – qirralarining uzunligi 1m dan bo'lgan kubning xajmi.
Tezlik	Metr taqsim sekund	m/s	To'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan moddiy nuqta 1s da 1 m masofaga ko'chsa, uning tezligi 1 m/s ga teng.
Tezlanish	Metr taqsim sekund kvadrat	m/s^2	To'g'ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan moddiy nuqta 1s da o'z tezligini 1 m/s ga o'zgartarsa, uning tezlanishi $1 m/s^2$ ga teng
Burchak tezlik	Radian taqsim sekund	rad/s	Tekis aylanma harakat qilayotgan jismning barcha nuqtalari 1s da 1rad ga burilsa, uning burchak tezligi 1 rad/s ga teng.
Zichlik	Kilogram taqsim sekund	kg/m^3	$1 kg/m^3$ shunday bir jinsli moddaning zichligiki, mazkur moddadan ajratib olingan $1 m^3$ hajmning

			massasi 1 kg bo'lad.
Impuls	Kilogram metr taqsim sekund	kg·m/s	1 kg·m/s – tezligi 1 m/s bo'lgan 1 kg massali moddiy nuqtaning impulsi.
Impuls momenti	Kilogram metr kvadrat taqsim sekund	kg·m ² /s	1 kg·m ² /s – radiusi 1 m li aylana bo'ylab harakatlanayotgan impulsi 1 kg m/s bo'lgan moddiy nuqtaning impuls momenti.
Kuch	Kilogram metr taqsim sekund	N	1 N – massasi 1 kg jismga ta'sir qilib, shu ta'sir yo'nalishida jsmga 1 m/s ² tezlanish beradigan kuch.
Kuch momenti	Nyuton metr	N·m	1 N·m – kuchning ta'sir chizig'ida 1 m masofada joylashgan nuqtaga nisbatan qiymati 1 N bo'lgan kuchning momenti.
Kuch impulsi	Nyuton sekund	N·s	1 N·s – 1 s davomida ta'sir etuvchi 1 n kuchning impulsi.
Bosim	Paskal	Pa	1 Pa – 1 N kuchning kuch yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan 1 m ² yuzaga beradigan bosim.
Sirt taranglik ko'effitsienti	Nyuton taqsim metr	N/m	1 N/m – shunday suyuqlikning sirt tarang-ligiki, bu suyuqlik erkin sirtini chegaralovchi konturning 1 m uzunligiga 1 N kuch ta'sir qiladi.
Ish (energiya)	Joul	J	1 J – 1 N kuch ta'sirida va kuch yo'nalishida ji-smni 1 m masofaga ko'chirishda bajarilgan ish.
Quvvat	Vatt	W	1 W – 1 s davomida 1 J ish bajaradigan mashinaning quvvati.
Selsiy temperatura	Selsiy gradus	°C	Selsiy o'lchovi jihatidan Kelvtnga teng.
Issiqlik miqdori	Joul	J	1 J – kattaligi 1 J bo'lgan mexanik ishga ekvivalent issiqlik miqdori.
Issiqlik sig'imi	Joul taqsim kelvin	J/s	1 J/K – shunday sistemaning issiqlik sig'imiki, bu sistemaga 1 J issiqlik miqdori berilganda uning temperaturasi 1 K ga ortadi.
Solishtirma issiqlik sig'imi	Joul taqsim kilogram kelvin	J/(kg·K)	1 J/(kg·K) – massasi 1 kg bo'lgan holda issiqlik sig'imi 1 J/K bo'ladigan jismning solishtirma issiqlik sig'imi.
Zaryad miqdori	Kulon	C	1 C – tok kuchi 1 A bo'lgan ko'ndalang kesimdan 1 s davomida o'tgan elektr zaryad miqdori.
Elektr maydon kuchlanganligi	Volt taqsim metr	V/m	1 V/m – kuchlanganlik chizig'i bo'ylab bir-biridan 1 m uzoqlikda joylashgan ikki nuqtasining potentsiallar farqi 1 V bo'lgan bir jinsli elektr maydon kuchlanganligidir. Bunday maydonga kiritilgan 1 C zaryadga 1 n kuch ta'sir qiladi.
Elektr induksiyasi (siljish)	Kulon taqsim metr kvadrat	C/m ²	1 C/m ² – yuzi 1 m ² li ko'ndalang kesimdan 1 C ga teng elektr induksiya oqimi o'tadigan holdagi elektr induksiyasidir.
Magnit induksiyasi	Tesla	T	1 T – yuzi 1 m ² li ko'ndalang kesimdan 1 C ga teng magnit oqim o'tadigan holdagi magnit induksiyadir.
Magnit maydon kuchlanganligi	Amper taqsim metr	A/m	1 A/m – magnit maydon shunday nuqtasining kuchlanganligiki, bu nuqtadagi magnit induksiya $4\pi \cdot 10^{-7}$ T bo'lad.
Magnit oqimi	Veber	Wb	1 Wb – shunday magnit oqimiki, uning nolgacha kamayib borish jarayonida mazkur magnit oqimi bilan tutingan elektr qarshiligi 1 Om bo'lgan elektr zanjirning ko'ndalang kesimidan 1 C zaryad o'tadi.
Induktivlik	genri	H	1 H – shunday o'tkazgich induktivligiki, undan 1 A tok o'tganda vujudga keladigan to'la magnit oqimi 1 Wb ga teng.

Elektr qarshilik	om	Om	1Om – ikki uchidagi potensiallar farqi 1V bo'lganda 1A tok o'tadigan o'tkazgichning elektr qarshiligi
Elektr kuchlanish	volt	V	1V – o'zgarmas tok kuchi 1A bo'lgan holda elenkr zanjirning 1Vt quvvat sarflanadigan qismidagi kuchlanish
Elektr sig'im	farada	F	1F – 1Kl zaryad berilganda potentsiali 1V ga ortadigan o'tkazgichning elektr sig'imidir.
Solishtirma elektr qarshilik	om-metr	Om-m	1Om-m – ko'ndalang kesimi 1m ² , uzunligi 1m bo'lganda 1Om elektr qarshilikka ega bo'ladigan o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi
Davriy jarayon chastotasi	gers	Gs	1Gs – 1s davomida davriy jarayonning bitta sikli amalga oshadigan holdagi davriy jarayon chastotasi
Yorug'lik oqimi	lyumen	lm	1lm – yorug'lik kuchi 1kd bo'lgan nuqtaviy manbadan 1sr fazoviy burchakda chiqarilayotgan yorug'lik oqimi.
Yorug'lik energiyasi	lyumen-sekund	lm-s	1lm-s – 1s davomida ta'sir etuvchi 1lm yorug'lik oqimida mujassamlangan yorug'lik energiyasi.
Ravshanlik	kandela taqsim metr kvadrat	kd/m ²	1kd/m ² – yorug'lik kuchi 1kd bo'lgan 1m ² yuzli yorug'lik tarqatadigan sirtning ravshanligi.
Yorituvchanlik	lyumen taqsim metr kvadrat	lm/m ²	1lm/m ² – 1lm yorug'lik oqimi chiqaradigan 1m ² yuzli sirtning yorituvchanligi.
Yoritilganlik	lyuks	lk	1lk – yuzi 1m ² bo'lgan sirtga 1lm yorug'lik oqimi tushishi tufayli vujudga keladigan yoritilganlik

Metallar va qotishmalarning solishtirma qarshiligi (ρ) (20°C) va qarshiliklarning temperatura koeffitsienti (α)

Modda	$\rho, \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$	$\alpha, \text{ K}^{-1}$	Modda	$\rho, \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$	$\alpha, \text{ K}^{-1}$
Alyuminiy	2.8	0.0042	Nixrom	110	0.0001
Volfram	5.5	0.0048	Qo'rg'oshin	21	0.0037
Jez	7.1	0.001	Kumush	1.6	0.004
Mis	1.7	0.0043	Po'lat	12	0.006
Nikelin	42	0.0001			

Elektroximiyaviy ekvivalentlar, mg/Kl

Alyuminiy (Al^{3+})	0.093	Mis (Cu^{2+})	0.33	Kumush (Ag^+)	1.12
Vodorod (H^+)	0.0104	Qalay (Sn^{2+})	0.62	Xrom (Cr^{3+})	0.18
Kistorod (O^{2-})	0.083	Nikel (Ni^{2+})	0.30	Rux (Zn^{2+})	0.34

Elektronlarning chiqish ishi, eV

Volfram	4.5	Bariy Oksid	1.0	Rux	4.2
Kaliy	2.2	Platina	5.3		
Litiy	2.4	Kumush	4.3		

Sindirish ko'rsatkichi(ko'rinadigan nurlar uchun)

Olmos	2.4	Muz	1.31	Shisha	1.6
Suv	1.3	Uglerod sulfid	1.63		
Havo	1.00029	Etil Spirt	1.36		

Ba'zi izotoplarning nisbiy atom massasi, m.a.b

Izotop	Neytral atomining massasi	Izotop	Neytral atomining massasi
^1_1H Vodorod	1.00783	$^{10}_5\text{B}$ Bor	10.01294
^2_1H Deyteriy	2.01410	$^{11}_5\text{B}$ Bor	11.00931
^3_1H Tritiy	3.01605	$^{12}_6\text{C}$ Uglerod	12.00000
^3_2He Geliy	3.01602	$^{14}_7\text{N}$ Azot	14.00302
^4_2He Geliy	4.00260	$^{15}_7\text{N}$ Azot	15.00011
^6_3Li Litiy	6.01513	$^{16}_8\text{O}$ Kislorod	15.99491
^7_3Li Litiy	7.01601	$^{17}_8\text{O}$ Kislorod	16.99913
^9_4Be Berilliy	8.00531	$^{27}_{13}\text{Al}$ Alyuminiy	26.98146

Doimiylar

Erkin tush.tezlan. $g=9,81 \text{ m/s}^2$	Loshmidt doim: $N_0=N_A/V_0=2,686 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}$
Gravitatsiya doim: $G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$	Normal sharoitda 1 mol gaz xajmi: $V_0=22,414 \text{ l/mol}$
Kulon doim: $k=9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{KJ}^2$	Stefan-Bolsman doim: $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
Elektr doim: $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$	1 m.a.b= $1,66113 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Magnit doim: $\mu_0=4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$	Proton tinch.mas: $m_p=1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}=1,00759 \text{ m.a.b}$
Yoruglik tezligi $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	Neytron tinch.mas: $m_n=1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}=1,00899 \text{ m.a.b}$
Plank doim: $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$	Elektron tinch.mas: $m_e=9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}=5,484 \cdot 10^{-4} \text{ m.a.b}$
Faradey doim: $F=96500 \text{ KJ/mol}$	$m_p=1836 \cdot m_e$; $m_n=1838,5 \cdot m_e$
Avagadro doim: $N_A=6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	Elektronning sol. zar. $e/m_e=1,7588 \cdot 10^{11} \text{ KJ/kg}$
Bolsman doim: $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$	El.ning tinch. en-si: $E_{0e}=8,2 \cdot 10^{-14} \text{ J}=0,512 \text{ MeV}$
Univer-gaz doim: $R=8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$	Pr.ning tinch. en-si: $E_{0e}=1,505 \cdot 10^{-10} \text{ J}=939 \text{ MeV}$
Vin doimiysi $b=2898 \text{ m}\cdot\text{K}$	Neyt.ning tinch. en-si: $E_{0e}=1,508 \cdot 10^{-10} \text{ J}=941 \text{ MeV}$
Ridberg doimiysi $R=3,27 \cdot 10^{15} \text{ Gs}$	

O'lchov birliklari ulushlari

Tera, T	10^{12}	Deka, da	10	Nano, n	10^{-9}
Giga, G	10^9	Detsi, d	10^{-1}	Piko, p	10^{-12}
Mega, M	10^6	Santi, s	10^{-2}	Femto, f	10^{-15}
Kilo, k	10^3	Milli, m	10^{-3}	Atto, a	10^{-18}
Gekto, g	10^2	Mikro, mk	10^{-6}		

Yuza va Hajm

Yuza		Hajm
$1 \text{ mm}^2=10^{-6} \text{ m}^2$	$1 \text{ km}^2=10^6 \text{ m}^2$	$1 \text{ mm}^3=10^{-9} \text{ m}^3=10^{-6} \text{ l}$
$1 \text{ sm}^2=10^{-4} \text{ m}^2$	$1 \text{ a} (1 \text{ ar}=1 \text{ sotok})=10^2 \text{ m}^2$	$1 \text{ sm}^3=10^{-6} \text{ m}^3=10^{-3} \text{ l}$
$1 \text{ dm}^2=10^{-2} \text{ m}^2$	$1 \text{ ga} (1 \text{ gektar}=100 \text{ sotok})=100 \text{ ar}=10^4 \text{ m}^2$	$1 \text{ dm}^3=10^{-3} \text{ m}^3=1 \text{ l}$
		$1 \text{ km}^3=10^9 \text{ m}^3=10^{12} \text{ l}$

Ba'zi moddalarning molyar massasi [kg/mol]

Kislorod atomi(O)	$16 \cdot 10^{-3}$	Is gazi(CO)	$28 \cdot 10^{-3}$	Qalay(Sn)	$119 \cdot 10^{-3}$
Kislorod molekulasasi(O ₂)	$32 \cdot 10^{-3}$	Suv(H ₂ O)	$18 \cdot 10^{-3}$	Qo'rg'oshin(Pb)	$207.2 \cdot 10^{-3}$
Vodorod atomi(H)	$1 \cdot 10^{-3}$	Metan(CH ₄)	$16 \cdot 10^{-3}$	Simob(Hg)	$201 \cdot 10^{-3}$
Vodorod molekulasasi(H ₂)	$2 \cdot 10^{-3}$	Etan(C ₂ H ₆)	$30 \cdot 10^{-3}$	Mis(Cu)	$63.6 \cdot 10^{-3}$
Azot atomi(N)	$14 \cdot 10^{-3}$	Propan (C ₃ H ₈)	$44 \cdot 10^{-3}$	Litiy(Li)	$7 \cdot 10^{-3}$
Azot molekulasasi(N ₂)	$28 \cdot 10^{-3}$	Geliy(He)	$4 \cdot 10^{-3}$	Oltin(Au)	$200 \cdot 10^{-3}$
Xlor atomi (Cl)	$35.5 \cdot 10^{-3}$	Temir(Fe)	$56 \cdot 10^{-3}$	Kumush(Ag)	$108 \cdot 10^{-3}$
Xlor molekulasasi (Cl ₂)	$70 \cdot 10^{-3}$	Alyuminiy(Al)	$27 \cdot 10^{-3}$	Uran(U)	$238 \cdot 10^{-3}$
Karbonat angidrid(CO ₂)	$44 \cdot 10^{-3}$	Rux(Zn)	$65.4 \cdot 10^{-3}$	Havo	$29 \cdot 10^{-3}$
Argon(Ar)	$40 \cdot 10^{-3}$				

O'lchov asboblarning vazifalari

Psixrometr--- nisbiy namlikni	Ampermetr----tok kuchini
Gigrometr--- shudring nuqtasini	Voltmetr---kuchlanishni
Bolometr---- metallar temperaturasini	Galvonametr---kuchlanish va tok kuchini
Termometr----temperaturani	Elektrometr---zaryadlaydi va potentsiallar farqi xosil qiladi.
Areometr---- suyuqlik zichligini	Elektroskop---zaryad miqdorini
Aneroid barometr---atmosfera bosimini	Taxometr---burovchi momentni
Simobli barometr---- atmosfera bosimini	Staglometr---sirt taranglik koeffitsienti
Monometr---idishdagi gaz bosimini	Vyazkozimetr---qovushqoqlikni
Dinamometr----kuchni	
Altmetr----balandlikni (samolyotlarda)	

XBSga kirmagam ba'zi kattaliklar

1m/s = 3,6km/soat	1J = 1/4,2 kal.	1 sutka = 86400 sek.
1km/soat = 1/3,6 m/s	1kVt:soat = 3,6Mj	1mm.sm.ust = 133,32 Pa
1ot kuchi = 736 Vt	1eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J	1astr.birl. = $1,5 \cdot 10^9$ m
1kVt = 1,36 ot kuchi	1J = $6,25 \cdot 10^{18}$ eV	1yoruglik yili = $9,5 \cdot 10^{15}$ m
1kal. = 4,2J	1g/sm ³ = 1000 kg/m ³	1Parsek = $3,1 \cdot 10^{16}$ m

Asosiy adabiyotlar

1. A.S.Nu'monxo'jayev, R.Y.Komilova, K.A.Tursunmetov, A.X.Yunusov, B.Normatov, A.M.Xudoyberganov. Fizika, ma'ruzalar matni, akademik litseylar uchun qo'llanma, 2-qism. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 2003, 415 b.
2. A.S.Nu'monxo'jayev, K.A.Tursunmetov, A.M.Xudoyberganov, M.A.Fattaxov, B.Normatov, N.A.Nurmatov. Fizika, ma'ruzalar matni, akademik litseylar uchun qo'llanma sifatida tavsiya etilgan, 3-qism. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 2001, 352 b.
3. M.X.O'Imasova. Mexanika va molekulyar fizika, akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma, 1-kitob. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 2004, 433 b.
4. M.X.O'Imasova. Elektrodinamika asoslari, tebranishlar va to'lqinlar, akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma, 2-kitob. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 2004, 360 b.
5. M.X.O'Imasova. Optika, atom va yadro fizikasi, akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma, 3-kitob. "Cho'lpon" nashriyoti. Toshkent.: 2010, 384 b.
6. A.G.G'aniyev, A.K.Avliyoqulov, G.A.Almardonova. Fizika (akademik litsey va kasb hunar kollejlari uchun), 1-qism. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 2002, 368 b.
7. A.G.G'aniyev, A.K.Avliyoqulov, G.A.Almardonova. Fizika (akademik litsey va kasb hunar kollejlari uchun), 2-qism. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 2003, 192 b.
8. N.M.Shaxmayev, S.N.Shaxmayev, D.Sh.Shodiyev. Fizika, 10-sinf. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 1993, 238b.
9. G.YA.Myakishev, I.B.Buxovsev. Fizika, uchebnik dlya 10 klassa sredney shkoli. —M.: Prosveshenie, 1990.—223 s.
10. G.Ya.Myakishev, B.B.Buxovsev. Fizika, 11-sinf. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 1996, 304 b.
11. M.Muhtidinov, Sh.Ahmedov, B.Qutlimurotov. Fizikadan testlar va ularning yechimi, oliy o'quv yurtlariga kiruvchi abituriyentlar uchun qo'llanma, 1-qism. "O'zbekiston" nashriyoti. Toshkent.: 2016, 423 b.
12. M.B.Dusmuratov. Fizika (oliy ta'lim muassasalariga kiruvchilar uchun qo'llanma). Nizomiy nomidagi TDPU bosmaxobasi. Toshkent.: 2016, 521 b.
13. O.Axmadjanov. Fizika kursi, 1-qism. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 1985, 255 b.
14. O.Axmadjanov. Fizika kursi, 2-qism. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 1988, 207 b.
15. O.Axmadjanov. Fizika kursi, 3-qism. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 1989, 270 b.
16. A.Qosimov, X.Jo'raqulov, A.Safarov. Fizika kursi, mexanika, 1-qism. "O'zbekiston" nashriyoti. Toshkent.: 1994, 320 b.
17. A.P.Rimkevich. Fizikadan masalalar to'plami. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 1993.
18. K.A.Tursunmetov, A.A.Uzoqov, I.Bo'riboev, A.M.Xudoyberganov. Fizikadan masalalar to'plami. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 2001, 256 b.
19. O'Q.Nazarov, X.Z.Ikromova, K.A.Tursunmetov. Umumiy fizika kursi (Mexanika va molekulyar fizika). "O'zbekiston" nashriyoti. Toshkent.: 1992, 280b.
20. Q.P.Egamov, O'Egamov. Fizika, darslik. "Aloqachi" nashriyoti. Toshkent.: 2013, 507b.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. A. A. Koptev, A. A. Pasko, A. A. Baranov. Maple v инженерных расчѣтах. Тамбовский государственный технический университет. — Тамбов.: 2003
2. Primqulova, R.Turgunbaev, G.Eshchanova, Sh.Ismailov. Maple da matematik masalalarni yechish metodlari (metodik qo'llanma). Nizomiy nomidagi Toshkent pedagogika Universiteti. Toshkent.:2009.
3. A.V.Pogorelov. Geometriya, 7–11 sinflar. "O'qituvchi" nashriyoti. Toshkent.: 1992.
4. D.Djankoli. Fizika, 1-chast. Izdatelstvo "Mir". Moskva.: 1989, 656 s.
5. D.Djankoli. Fizika, 2-chast. Izdatelstvo "Mir". Moskva.: 1989, 673s.
6. A.N.Remizov, A.YA.Potapenko. Kurs fiziki. OOO «Drofa». Moskva.: 2002, 720 s.
7. Ronald J. Hershberger, James J. Reynolds. Calculus with Applications, the 2nd edition. Lexington, Massachusetts.: Copyright © 1993 by D.C. Heath and Company.
8. Halliday & Resnick. Principles of physics. Cleveland state university. Cover image from © M.Darlush/Shutterstock, 9th edition. 2011. 1248 pages.

MUNDARIJA

SO'Z BOSHI	3
ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI	4
I BOB. O'ZGARMAS TOK QONUNLARI	5
§ 1. Elektr toki. Elektr qarshilik. Zanjirning bir qismi uchun om qonuni	5
§ 2. Qarshiliklarni ketma-ket va parallel ulash	14
§ 3. O'lchov asboblari. O'lchov chegaralarini oshirish	20
§ 4. Joul-lens qonuni. Quvvat	24
§ 5. To'liq zanjir uchun om qonuni. To'liq zanjir uchun joul-lens qonuni	32
§ 6. Doimiy tok manbalarini ulash	39
§ 7. Kirxgof qonunlari va ulardan kelib chiqadigan natijalar	43
II BOB. TURLI MUHITLARDAGI ELEKTR TOKI	59
§ 8. Suyuqliklarda elektr toki. Elektroliz uchun Faradey qonunlari	59
§ 9. Yarim o'tkazgichlarda elektr toki	62
§ 10. Vakuumdagi elektr toki	69
§ 11. Gazlarda elektr toki. razryad va uning turlari	72
II BOB. MAGNETIZM	83
§ 12. Magnit hodisalar. Magnit maydonning mavjudligini isbotlovchi tajribalar	83
§ 13. Amper kuchi va uning yo'nalishi. Tokli konturning magnit momenti, burovchi momenti va potentsial energiyasi	94
§ 14. Bio-savar-laplas qonuni va undan kelib chiqadigan natijalar	101
§ 15. Magnetiklar. Muhitning magnit xususiyatlari	109
§ 16. Lorents kuchi. Magnit maydondagi zaryadli zarraning traektoriyasi	115
§ 17. Magnit oqimi. Elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qoidasi	119
§ 18. Elektromagnit induksiya qonuni va uning tatbiqlari	123
§ 19. O'zinduksiya hodisasi. G'altakning induktivligi magnit maydon energiyasi. O'zaro induksiya hodisasi	129
IV BOB. MEXANIK TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR	144
§ 20. Tebranish haqida asosiy tushunchalar	144
§ 21. Prujinali mayatnik	146
§ 22. Matematik mayatnik	148
§ 23. Tebranishlarni qo'shish	154
§ 24. Mexanik to'lqin haqida asosiy tushunchalar	158
§ 25. Mexanik to'lqinlar interferensiyasi va difraksiyasi	161
§ 26. Akustika elementlari	164
V BOB. ELEKTR TEBRANISHLARI VA ELEKTROMAGNIT TO'LQINLARI	177
§ 27. Tebranish konturi. elektr tebranishlar. Tomson formulasi	177
§ 28. O'zgaruvchan tok zanjirida aktiv qarshilik va o'rta quvvat	182
§ 29. O'zgaruvchan tok zanjirida kondensator va g'altak	185
§ 30. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni	189
§ 31. Transformator va unda elektr energiyasini uzatish	198
§ 32. Elektromagnit maydon nazariyasi. Gers tajribalari. Elektromagnit to'lqinlarini xossalari	201
§ 33. Radioaloqa, televideniya va radiolokatsiya haqida tushuncha. Radioto'lqin shkalasi	206
OPTIKA	219
VI BOB. FOTOMETRIYA ASOSLARI	220
§ 34. Yorug'lik va uning manbalarini. Yorug'lik oqimi va yorug'lik kuchi	220
§ 35. Fotometriya qonunlari	226
VII BOB. GEOMETRIK OPTIKA	233
§ 36. Yorug'likning qaytish qonuni. Yassi ko'zgu sferik ko'zgu	233
§ 37. Yorug'likning sinish qonuni. To'la ichki qaytish hodisasi	243

§ 38. Nurning turli shaffof jismlardagi yo'li	246
§ 39. Linzalar va uning turlari. Nurning linzadagi yo'li linzada tasvir yasash. yupqa linza formulasi. Linza formulasidan kelib chiqadigan natijalar	254
§ 40. Optik kuchi. Linza optik kuchining material turi va geometrik o'lchamlariga bog'liqligi	262
§ 41. Ko'z-optik asbob. Ko'zning optik xususiyatlari	266
§ 42. Optik asboblari	271
§ 43. Yorug'lik tezligi va uni o'lchashning turli tarixiy usullari	278
VIII BOB. TO'LQIN OPTIKASI	290
§ 44. Yorug'lik dispersiyasi	290
§ 45. Yorug'lik interferensiyasi. interferensiyon manzarani hisoblash	294
§ 46. Yorug'lik difraksiyasi. Frenel-gyugens prinsipi. difraksiya natijasida hosil bo'lgan interferensiyon manzaralarni hisoblash	306
§ 47. Yorug'likning qutblanishi. Qisman va to'la qutblangan yorug'lik. Bryuster va Malys qonunlari	311
IX BOB. YORUG'LIKNING KVANT TABIATI	324
§ 48. Nurlanishning turlari. Nurlanish qonunlari	324
§ 49. Fotoeffekt qonunlari va fotoeffekt nazariyasi	333
§ 50. Foton va uning xarakteristikalar. Kompton effekti va yorug'lik bosimini kvant nazariya bo'yicha tushuntirish	338
§ 51. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi	345
X BOB. NISBIYLIK NAZARIYASI	356
§ 52. Galiley almashtirishlari va undan kelib chiqadigan natijalar	356
§ 53. Efir gipotezasining muvaffaqiyatsizligi. Nisbiylik nazariyasining postulatlar. Lorents almashtirishlari	359
§ 54. Lorents almashtirishlaridan kelib chiqadigan natijalar	362
ATOM, YADRO VA ZARRALAR FIZIKASI	380
XI BOB. ATOM FIZIKASI	381
§ 55. Atom haqida klassik tasavvurlarning rivojlanishi	381
§ 56. Bor postulatlar va ulardan kelib chiqadigan	388
§ 57. Moddalarning korpuskulyar-to'lqin dualizmi. De-Broyl to'lqini	398
§ 58. Kvant sonlari hamda atom va molekullarning elektron bulutlari haqida tushuncha	403
XII BOB. YADRO FIZIKASI	419
§ 59. Radioaktivlik. Yemirilish va uning turlari. Siljish qoidasi. Radioaktiv yemirilish qonuni. Nurlanish aktivligi va dozasi.	419
§ 60. Atom yadrolarining umumiy xarakteristikasi	427
§ 61. Bog'lanish energiyasi, solishtirma bog'lanish energiyasi va massa defekti. Yadroni tavsiflovchi modellar	432
§ 62. Yadro reaksiyalari	436
XI BOB. ZARRALAR FIZIKASI	449
§ 65. Elementar zarralarni qayd etish. Dastlabki kashf qilingan zarralar	449
§ 66. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Annigilyatsiya. Elementar zarralarning sinflari	453
§ 67. Olamning yagona fizik manzarasi	456
Test va masalalarning javoblari	459
ILOVALAR	462
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati	467

KBK: 22.3(5Uzb)

H-22

UO'K: 31.32.53

ISBN 978-9943-565-8-07

**Axmedov Sh.B., Dusmurotov M.B. FIZIKA II qism /darslik/ T.: "NAVRO'Z", 2019.
– 470 b.**

Nashriyot litsenziyasi № AI 170. 23.12.2009 y.

Buyurtma № 134. Bosishga ruxsat etildi 24.09.2019.

Times New Roman garniturası. Qog'oz bichimi: 60x84 $\frac{1}{16}$

Nashriyot bosma tabog'i 29,4. Adadi 250 nusxa.

111500, Toshkent vil., Nurafshon shahri, Toshkent yo'li ko'chasi, 123 uy.

OOO «BARHAYOT HAMKOR BUSINESS» bosmaxonasida chop etildi.

Toshkent, Shirin ko'chasi, 22 mavze, 7.